

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Civil



Memoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme

De Master en Génie Civil

Option : « Constructions hydrauliques et aménagements »

THEME

AMENAGEMENT D'UN CANAL ARTIFICIEL EN MATELAS RENO POUR LA LUTTE CONTRE LES INONDATIONS

« Simulation des inondation sous Hec-Ras »

Présenté par :

Mr. RABET Kaci

Mr. BEN HAMOU Juba

Encadré par :

Prof. HAMMOUM Hocine

Promotion: 2018/2019

Remerciements

En préambule à ce mémoire, nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à Mr HAMMOUM Hocine notre promoteur, professeur au département de génie civil, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Un grand merci également à Mme BOUZELHA Karima, Professeur au département de génie civil, pour avoir eu la patience de répondre à nos innombrables questions.

Nos vifs remerciements aussi aux ingénieurs de géosystèmes Mr TOUAT Mouloud, Mr BOUZELHA Malik, Mr BOUZIDA Redha et Mr Mourad pour leurs disponibilités et qui nous ont beaucoup aidé pour mener ce travail à son terme.

Nous adressons aussi notre profonde reconnaissance et nos remerciements à Mme BenKaci Souhila, Maître assistante A à l'université de Blida, pour sa présence et son accompagnement tout au long de notre mémoire.

Un spécial remerciement aux membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail.

Enfin à tous ce qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Merci

DEDICACES

*Je dédie ce travail à la mémoire de mon défunt père **RABET Arezki** et mon beau-frère **MESSAOUDI KARIM** et mes deux grandes mères qui nous ont quittés très tôt mais qui sont toujours présent dans mon cœur.*

A ma très chère mère affable, honorable, aimable : tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

*A mes très chers sœurs **Lahna, Tassadit** et **Shehrazed** ainsi qu'à leurs enfants.*

*A mon très cher frère **Ali** et mon cousin **YACINE Amar***

A tous les membres de ma famille, petits et grands, veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

*A tous mes amis : **Fatíha, Azíz, Marzouk** et **Idir** en témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble.*



Kaci

Introduction générale

Chapitre 01 : Présentation de la zone d'étude

Introduction	1
1.1. Situation géographique	1
1.2. Localisation de la zone d'étude.....	2
1.3. Situation climatique	3
1.3.1. Température	3
1.3.2. Pluviométrie	4
1.3.3 L'humidité relative	5
1.3.4 Vitesse moyenne du vent	6
1.3.5 Métrologie	7
1.4. Situation géologique	8
1.5. Evolution démographique	8
1.6. Crue	8
1.7. Inondation	8
1.7.1 Les différents Types d'inondations	9
1.7.2 Les Risques des inondations en Algérie	9
1.7.3 Les inondations en Algérie	10
1.7.4 Causes des inondations catastrophiques en Algérie	11
1.8. Gestion des inondations.....	12
1.8.1 L'aménagement du bassin versant	12
Conclusion.....	13

Chapitre 02 : Etude hydrologique

Introduction	14
2.1. Délimitation du bassin versant de la zone d'étude.....	14
2.2. Morphométrie du bassin versant	14
2.2.1. La surface	14

Table des matières

2.2.2. Le périmètre	15
2.2.3. Indice de compacité ou de Gravelius Kc	15
2.2.4. Rectangle équivalent.....	16
2.3. Le relief.....	17
2.3.1. Répartition des surfaces.....	17
2.3.2. Courbe hypsométriques	18
2.3.3. Les altitudes caractéristiques.....	20
2.3.4. Indice de pente globale Ig.....	20
2.3.5. La pente moyenne	21
2.3.6. Dénivelée spécifique Ds	21
2.4 Caractéristiques du réseau hydrographique.....	21
2.4.1. Hiérarchisation du réseau	22
2.4.2. Densité de drainage.....	22
2.4.3. La pente moyenne du cours d'eau principale.....	22
2.5. Temps de concentration.....	23
Formule de GIANDOTI	23
Formule de PASSINI	23
Formule de KIRPICH	24
Formule SR Etat de Californie	24
2.5.1. Vitesse moyenne de ruissèlement	24
2.6. Analyse des données pluviométriques.....	25
2.6.1 Précipitations moyennes annuelles et maximales journalières de la station de Ain Touta	25
2.6.2. Les précipitations maximales journalières fréquentielles.....	26
2.7. Les apports	28
2.7.1. Apports liquides	28
2.7.2. Apports solides.....	31
2.8. Les Débits de crues	32

Table des matières

2.8.1. Caractéristiques de la crue.....	34
Conclusion	38

Chapitre 03 : Etude géotechnique de la zone d'étude

Introduction	39
3.1. Reconnaissance IN-SITU	39
3.1.1. Phase de reconnaissance préliminaire	39
3.1.2. Phase d'intervention in-situ.....	39
3.2. Résultats et interprétation des essais IN-SITU	41
3.3. Résultats des essais de laboratoire	43
Conclusion	47

Chapitre 4 : Etude topographiques

Introduction	48
4.1. Acquisitions des données topographiques de la zone d'étude	48
4.2 Création des tabulations (section transversales de l'oued)	59
c- Création des différents axes (Lit d'Oued, Berge gauche et droite)	59
d-Création des tabulations	63
Conclusion	66

Chapitre 05 : Modélisation et simulation des inondations sous le logiciel HEC-RAS

Introduction	67
5.1. Présentation du logiciel Hec -Ras	67
5.2. Théorie de base de calcul du logiciel HEC-RAS.....	67
5.2.1. Équations de base.....	68
5.2.2. Subdivision d'une section en travers pour le calcul du débit	69
5.3. Données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS	69
5.6. Application du modèle HEC-RAS au cas d'étude.....	70
d- Choix des valeurs de rugosité de Manning.....	74
5.6.4. Résultats de la simulation et interprétation	76

Table des matières

5.6.5. Morphologie de l'oued et risques d'inondations.....	86
Conclusion	88

Chapitre 06 : Aménagement du cours d'eau

Introduction	89
6.1. Propositions d'aménagement	89
6.2. Calcul hydraulique	92
6.2. 2.Résultats du calcul hydraulique d'un canal en terre	94
6.3. Vérification de l'Affouillement dans le canal en terre	98
6.3.1. Méthode de calcul de l'affouillement	98
6.3.2. Résultats et interprétation	100
6.4. Dimensionnement des revêtements en matelas Reno	102
6.4.1. Vérification en termes de vitesse	103
6.4.2. Vérifications en termes de tension d'entraînement.....	104
6.4.2.1. Fond du canal	104
6.4.2.2. Les berges	105
6.4.3. Estimation des effets de déformation	106
6.4.4. Vérification vis a vis de l'érosion du matériau de base.....	108
6.5. Interprétation des résultats.....	110
6.4.5. Résultats et interprétations	122
Conclusion	122

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexes

Chapitre 01 : Présentation de la zone d'étude

Figure 1.1 : Localisation de la commune de Ain Touta (Google Map)	1
Figure 1.2 : Communes limitrophes d'AIN TOUTA (Google Map)	2
Figure 1.3 : Localisation de la zone d'étude carte d'état-major de Ain Touta NI - 31 – XXIV – 6- EST, à l'échelle (1/50000)	2
Figure 1.4 : Localisation de la zone au contre bas de la butte rocheuse et boisée.	3
Figure 1.5 : Illustration du talweg traversant la zone d'étude (Géosystème, photos).	3
Figure 1.6 : Variation mensuelle de la température moyenne mensuelle.	4
Figure 1.7 : Variations mensuelles des précipitations	4
Figure 1.8 : Répartition des pluies moyennes mensuelles	5
Figure 1.9 : Valeurs moyennes mensuelles d'humidité(%)	6
Figure 1.10 : Vitesses moyennes mensuelles du vent (m/s)	6
Figure 1.11 : Variation de l'évaporation totale mensuelle (mm).	7

Chapitre 02 : Etude hydrologique

Figure 2.1 : Délimitation du bassin versant sur la carte calée d'état-major Ain Touta NI-31- XXIV- 6 Est.....	14
Figure 2.2 : Présentation du bassin versant Ain Touta sur la carte calée d'état-major Ain Touta NI-31-XXIV- 6 Est	15
Figure 2.3 : Rectangle équivalent.....	17
Figure 2.4 : La courbe hypsométrique du bassin versant	19
Figure 2.5 : Classification de réseau hydrographique.....	22
Figure 2.6 : Hydrogramme de crue de SB1	35
Figure 2.7 : Hydrogramme de crue de SB2	36
Figure 2.8 : Hydrogramme de crue de SB3	37
Figure 2.9 : Hydrogramme de crue de SB4	37
Figure 2.10 : Hydrogramme de crue de SB5.	38

Chapitre 03 : Etude géotechnique de la zone d'étude

Figure 3.1 : Localisation des sondages carottés.	40
---	----

Chapitre 04 : Etude Topographique

Figure 4.1: Fichier topographique (AGC).	48
Figure 4.2: Couches des points topographiques.	49
Figure 4.3: Extraire le fichier de points sous format texte (.txt).	49
<i>Figure 4.4 : Validation de la procédure d'extraction des points topographiques.</i>	50
Figure 4.5 : L'interface du logiciel Autocad	51
<i>Figure 4.6 : Commande Create.</i>	51
Figure 4.7 : Commande Import Points.....	51
Figure 4.8 : Commande Add files.	52
Figure 4.9 : Commande Import Points.....	52
Figure 4.10 : Réalisation du semis de points.	53
Figure 4.11 : Procédure de création des surfaces.	53
Figure 4.12 : Validation de la création des surfaces.	54
Figure 4.13 : Surfaces créées.....	54
Figure 4.14 : Les axes de l'oued.	55
Figure 4.15 : Commande alignement.....	56
Figure 4.16 : Validation de la couche dessins.	56
Figure 4.17 : Commande Simple Lines.	57
Figure 4.18 : Validation de la couche dessins.	57
Figure 4.19: Commande Simple Lines Tools.....	58
Figure 4.20 : Commande By range of stations.	58
Figure 4.21: Validation de la Commande By range of stations.	59
Figure 4.22 : Tabulation créées.	59
Figure 4.23 : Commande Export to HEC RAS.	60
Figure 4.24 : Validation de la commande Export to HEC RAS.	60
Figure 4.25 : L'interface du logiciels Global Mapper.	61
Figure 4.26 : Importation de la mise en page des coordonnées	61
<i>Figure 4.27: Projections.</i>	62
Figure 4.28 : Point topographique.....	62
Figure 4.29 : Création du MNT.....	63
Figure 4.30 : Commande Elevation Grid Création Options.	63
Figure 4.31 : Modèle numérique de notre terrain.....	64
Figure 4.32: Commande d'exportation du MNT.	64
Figure 4.33 : Format à exporter.....	65

Figure 4.34 : Commande exportation en format GeoTIFF.	65
--	----

Chapitre 05 : Modélisation et simulation des inondations sous le logiciel HEC-RAS

Figure 5.1 : Conservation de la charge entre deux sections.	68
Figure 5.2 : Méthode de subdivision du débit par le modèle HEC-RAS.	69
Figure 5.3 : Cours d'eau à l'aval.	70
Figure 5.4 : Plan topographique d'oued AIN TOUTA	70
Figure 5	71
Figure 5.6 : Commande Import Geometry Data.....	71
Figure 5.7 : Géométrie du cours d'eau.....	71
Figure 5.8: Jonction des tronçons.....	72
Figure 5.9 : géométrie après jonction des tronçons.....	72
Figure 5.10 : insertion des débits	73
Figure 5.11 : Condition au limite	73
Figure 5. 12 : Edit Manning's n or k values	74
Figure 5.13 : Illustration d'une section en travers.....	75
Figure 5.14 : Fenêtres de simulation pour le régime permanent	75
Figure 5.15 : Les différentes étapes pour une simulation dans Hec-Ras.....	76
Figure 5.16 : Profil en long du tronçon 3 à l'état naturel pour une crue centennale.....	81
Figure 5.17 : Profil en long du tronçon 5 à l'état naturel pour une crue centennale.....	82
Figure 5.18 : Visualisation en 3D des zones inondable pour le tronçon 5	85
Figure 5.19: Sections en travers des tronçons.....	89

Chapitre 06 : Aménagement du cours d'eau

Figure 6.1 : canal trapézoïdale en terre.	89
Figure 6.2: Canal trapézoïdal en béton armé.	90
Figure 6.3 Canal en matelas Reno au fond et sur les berges.	91
Figure 6.4 : géométrie d'un canal trapézoïdale	93
Figure 6.5 : organigramme du calcul hydraulique	94
Figure 6.6 : organigramme du calcul d'affouillement	100
Figure 6.7 : Vitesse critique en fonction du nombre de Froude de l'écoulement et des dimensions des pierres de remplissage	103
Figure 6.8 : Vitesse critique qui initie le mouvement de roche en fonction de Reno épaisseur du matelas.	104

Liste des figures

Figure 6.9 : Schéma du mouvement des pierres dans les poches.....	106
Figure 6.10 : Rapport entre le paramètre de déformation et le coefficient d'efficacité de shields.	107
Figure 6.11 : Valeurs des vitesses admissibles maximum pour terrains cohérents	109
Figure 6.12 : organigramme du calcul de revêtement en matelas Reno	112

Chapitre 01 : Présentation de la zone d'étude

Tableau 1.1: les valeurs moyennes mensuelles des températures	3
Tableau 1.2: les valeurs moyennes mensuelles des précipitations.	4
Tableau 1.3: les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité	5
Tableau 1.4 : Valeurs moyennes des vitesses du vent	6
Tableau 1.5 : Evaporation totale mensuelle (mm)	7
Tableau 1.6 : Population de la commune d'Ain Touta	8
Tableau 1.7 : Illustre le nombre de construction, par ville, construites sur les zones inondables	11

Chapitre 02 : Etude hydrologique

Tableau 2.1 : Caractéristiques morphométriques des sous bassins.....	15
Tableau 2.2 : Caractéristiques morphométriques des sous bassins.....	16
Tableau 2.3 : longueur et largeur équivalent des sous bassins	17
Tableau 2.4 : La pente moyenne du cours d'eau principale	23
Tableau 2.5 : Temps de concentrations pour les sous bassins avec les différentes formules ...	24
Tableau 2.6 : Vitesse moyenne du ruissellement	24
Tableau 2.7 : Données des précipitations moyennes annuelles et maximales journalières à Ain Touta [].....	25
Tableau 2.8 : Variable de Gauss pour une période de retour	26
Tableau 2.9 : Précipitations maximale journalières fréquentielles	27
Tableau 2.10 : Apports moyens interannuels des sous bassins versants selon la relation I de coutagune	28
Tableau 2.11 : Apports moyens interannuels des sous bassins versants selon la relation II de coutagune	28
Tableau 2.12 : Apports moyens interannuels des sous bassins versants selon la relation de Samie.....	28
Tableau 2.13 : Apports moyens interannuels des sous bassins versants selon la relation d'ANRH.....	29
Tableau 2.14 : Tableau récapitulatif des résultats de la lame d'eau pour les différents BV	29
Tableau 2.15 : Tableau récapitulatif des résultats de l'apport moyen annuel pour les différents BV	29

Liste des tableaux

Tableau 2.16 : Tableau récapitulatif des résultats de l'apport moyen annuel pour les différents BV	30
Tableau 2.17 : paramétré caractéristique de perméabilité	31
Tableau 2.18 : résultats des apports liquides des sous bassin.....	31
Tableau 2.19 : Débit de crue des sous bassins versants	33
Tableau 2.20 : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue	34
Tableau 2.21 : Débit de crue de sous bassin N°1	34
Tableau 2.22 : Temps de monte et de décrue de sous bassins versant N°1	34
Tableau 2.23 : Débit de crue de sous bassin N°2	35
Tableau 2.24 : Temps de monte et de décrue de sous bassins versant N°2	35
Tableau 2.25 : Débit de crue de sous bassin N°3	36
Tableau 2.26 : Temps de monte et de décrue de sous bassins versant N°3	36
Tableau 2.27 : Débit de crue de sous bassin N°4	37
Tableau 2.28 : Temps de monte et de décrue de sous bassins versant N°4	37
Tableau 2.29 : Débit de crue de sous bassin N°5	38
Tableau 2.30 : Temps de monte et de décrue de sous bassins versant N°5	38

Chapitre 03 : Etude géotechnique de la zone d'étude

Tableau 3.1 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage carotté (zone B)	42
Tableau 3.2 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage carotté (zone C)	42
Tableau 3.3 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage à la tarière N°1	43
Tableau 3.4 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage à la tarière N°2	43
Tableau 3.5 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage à la tarière N°3	43
Tableau 3.6 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage à la tarière N°1	44
Tableau 3.7 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage à la tarière N°2	44
Tableau 3.8 : Les résultats d'analyse granulo-sédimentométrique	44
Tableau 3.9 : Les résultats des essais physiques	45
Tableau 3.10 : Les résultats des essais mécaniques	45
Tableau 3.11 : Limite d'Atterberg en fonction de la profondeur	45
Tableau 3.12 : Les résultats d'analyse chimiques selon la norme NF 94-051	46
Tableau 3.13 : classification des sols agressifs et les mesures de protection	46
Tableau 3.14 : Récapitulatif des résultats de calcul des tassements	47
Tableau 3.15 : Récapitulatif du calcul de la portance (zone B)	47
Tableau 3.16 : Les résultats de calcul des tassements (zone B)	47

Liste des tableaux

Tableau 3.17 : Récapitulatif du calcul de la portance (zone C)	47
Tableau 3.18 : Les résultats de calcul des tassements (zone C)	48

Chapitre 05 : Modélisation et simulation des inondations sous le logiciel HEC-RAS

Tableau 5.1: Valeurs de la rugosité du cours d'eau	74
Tableau 5.2 : Résultats de la simulation pour une période de retour de 100 ans tronçon 3	77
Tableau 5.3 : Résultats de la simulation pour une période de retour de 100 ans tronçon 5	78
Tableau 5.4 : Risques d'inondations par station pour tronçon 3	85
Tableau 5.5 : Risques d'inondations par station pour tronçon 5	86

Chapitre 06 : Aménagement du cours d'eau

Tableau 6.1 : Estimation financière de la variante 1.	89
Tableau 6.2 : Estimation financière de la variante 2.	90
Tableau 6.3 : Estimation financière de la variante 3.	91
Tableau 6.4 : Calculs hydrauliques du canal en terre pour une crue centennale de l'oued 3...95	
Tableau 6.5 : Calculs hydrauliques du canal en terre pour une crue centennale de l'oued 5...97	
Tableau 6.6 : Caractéristiques de stabilité et de déformation.....	99
Tableau 6.7 : Calcul de l'affouillement pour une crue pour l'oued 3.	101
Tableau 6.8 : Calcul de l'affouillement pour une crue pour l'oued 5.	102
Tableau 6.9 : Calculs hydrauliques du canal en matelas Reno pour une crue centennale du tronçon 3.	113
Tableau 6.10 : Calculs hydrauliques du canal en matelas Reno pour une crue centennale du tronçon 5.	115
Tableau 6.11 : Hypothèses de calcul.....	117
Tableau 6.12 : Vérification de la stabilité du canal trapézoïdal en matelas Reno d'oued 3...118	
Tableau 6.13 : Vérification de la stabilité du canal trapézoïdal en matelas Reno d'oued 5...120	

Liste des tableaux

Introduction générale

Depuis toujours et particulièrement ces deux dernière décennies, on assiste en Algérie aux effets dévastateurs de inondations qui affectent aussi bien le Nord que le Sud d pays. Ainsi, les catastrophes naturelles les plus fréquentes et le plus dévastatrices en Algérie sont dues aux inondations. Elles atteignent parfois l'ampleur d'une catastrophe nationale. Ces phénomènes sont imprévisibles dans le temps dans l'espace et ils constituent une contrainte majeure pour le développement économique et social. Elles sont caractérisées par une violence et un transport solide assez important.

L'inondation ne peut être, dans le cas de la ville de Ain Touta, qu'aléatoire ou accidentelle lors d'une crue produite par des pluies exceptionnelles, car elle se produit lorsque de l'eau en excès ne peut être évacuée par les voies naturelles (*lits mineurs des cours d'eau*) ou artificielles prévues à cet effet (*drains et réseaux d'évacuation des eaux pluviales*). Notre présente étude a pour objet la protection de la zone Ain Touta contre les inondations.

Pour accomplir ce travail nous l'avons structuré en six chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude d'un point de vue géographique, climatique, géologique, afin de localiser la zone d'Ain Touta.

Le deuxième chapitre est dédié à l'étude hydrologique du bassin versant de la zone d'étude pour estimer les différents volumes et débits qui traversent la zone d'étude, tels que les débits de crues, apports solides et liquides des sous bassins versants.

Le troisième chapitre comporte les résultats des investigations in situ effectuées par le bureau d'étude AGC, à savoir une campagne de test par poinçonnement et une campagne d'investigation par sondages géotechniques.

Le quatrième chapitre est dédié à l'étude topographique à l'objectif d'établir un modèle numérique de terrain concernant notre zone d'étude, ainsi que la création des tabulations (section transversale le long du profil du canal) nécessaire pour la modélisation du risque d'inondation via le logiciel Hec-Ras.

Le cinquième chapitre consacré à la modélisation de l'inondation de la zone d'étude (simulation numérique) à l'aide du logiciel HEC RAS afin de mieux connaître le comportement du cours d'eau à l'état naturel.

Le sixième et le dernier chapitre est réservé pour la conception et le dimensionnement du canal d'aménagements pour sécuriser notre site des inondations.

Chapitre 01 : Présentation de la zone d'étude

Introduction

Ce premier chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude d'un point de vue géographique, climatique, géologique, afin de localiser la zone de Ain Touta et de définir son climat, en vue de l'aménagement de son oued. Par ailleurs, un aperçu sur les inondations des villes en Algérie sera présenté.

1.1. Situation géographique

La commune d'Aïn Touta a été créée le 29 décembre 1884 par un arrêté gouvernemental publié dans le journal du gouvernement général le 19 du mois de la même année. En 1904, par le décret gouvernemental du 27 décembre une partie de la commune mixte s'est associée à la commune mixte de Bellezma. À la suite du découpage administratif de 1974, Aïn Touta est devenu chef-lieu d'une daïra.

Ain Touta est une commune de la wilaya de Batna, située à 35 km au sud-ouest de Batna (figure 1.1) et à 81 km au nord-est de Biskra. Elle est composée de 5 localités : Ain Touta, Louchèchna (Khodrane), Ait Makhoulf, Briket, Ait Yahia, Tamarins.



Figure 1.1 : Localisation de la commune de Ain Touta (Google Map)

Comme l'illustre la **figure 1.2**, la commune d'AIN TOUTA est délimitée :

- au nord par la commune Hidoussa Oued Chaaba,
- à l'est par la commune de Ben Foudhala El Kania,
- à l'ouest par les communes Tilatou,
- et au sud par la commune de Maafa.



Figure 1.2 : Communes limitrophes d'AIN TOUTA (Google Map)

1.2. Localisation de la zone d'étude

Le site faisant l'objet de notre étude se trouve à Ain Touta, sur la rive droite de la route menant vers Barbat, commune Maafa (figure 1.3). Ce site est située en bas d'une petite butte rocheuse et boisée (figure 1.4), elle est chahutée et traversée par des talwags (figure 1.5).



Figure 1.3 : Localisation de la zone d'étude carte d'état-major de Ain Touta NI - 31 – XXIV – 6- EST, à l'échelle (1/50000)

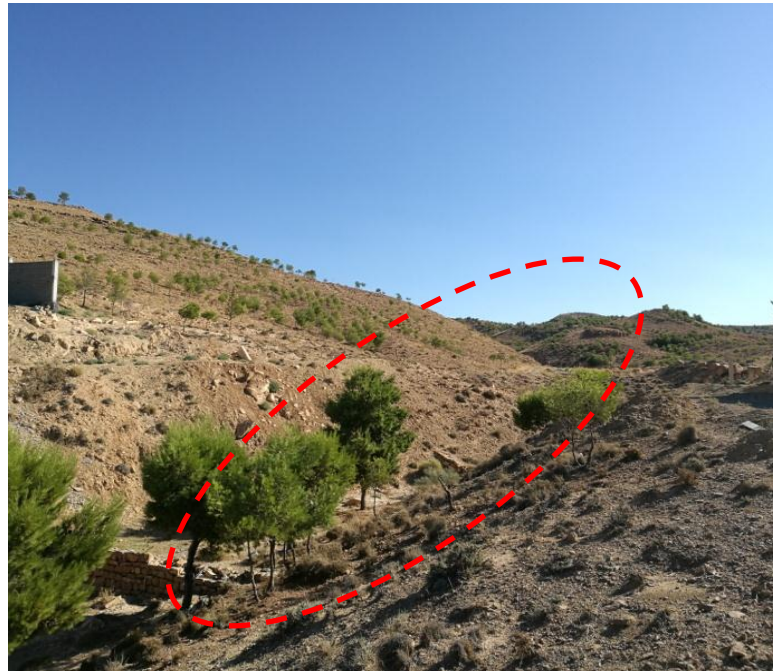


Figure1. 4 : Localisation de la zone au contre bas de la butte rocheuse et boisée.



Figure 1.5 : Illustration du talweg traversant la zone d'étude (Géosystém, photos).

1.3. Situation climatique

1.3.1. Température [1]

Les données utilisées sont celles recueillies à la station de Batna pour période (1995/2006)

Tableau 1.1: les valeurs moyennes mensuelles des températures [1]

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fev	mars	avril	mai	juin	jui	aou
Température maximale (°C)	35,7	31,4	24,3	19,3	19,5	20,5	25,9	29	33,8	39,1	40,9	40,6
Température minimale (°C)	8,2	4,2	-2	-4	-5,3	-5,3	-4	-1,5	3,6	7,3	12,2	11,5
Température moyenne (°C)	21,9	17,8	11,1	7,6	7,1	7,6	10,9	13,7	18,7	23,2	26,5	26

Le mois le plus froid est janvier avec une température minimale égale à -5,3 C° et d'une température maximale égale à 19,5 C°. Le mois le plus chaud est de Juillet avec une température minimale égale à 12,2 C° et d'une température maximale égale à 40,96C°.

La variation de la température moyenne mensuelle est représentée dans la figure 1.6.

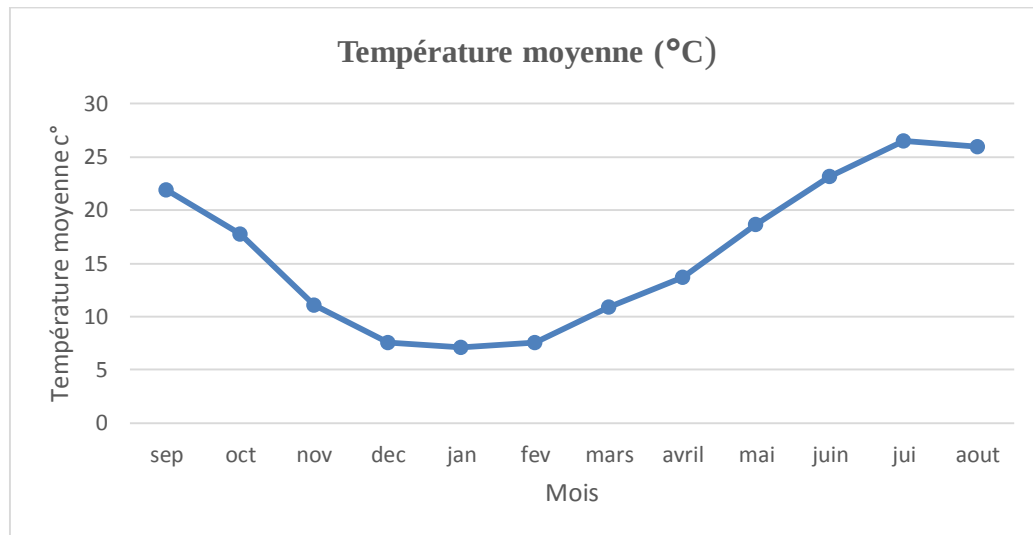


Figure 1.6 : Variation mensuelle de la température moyenne mensuelle.

1.3.2. Pluviométrie [1]

Le climat dominant à Ain Touta est un climat de steppe. Les pluies sont faibles. La figure 1.7 montre que le nombre de jours maximum de pluies est de 07, atteint au mois de décembre. Par ailleurs, la moyenne des précipitations annuelles atteinte est de 196 mm (tableau 1.2). Enfin, la répartition des pluies moyennes mensuelles est illustrée dans la figure 1.8.

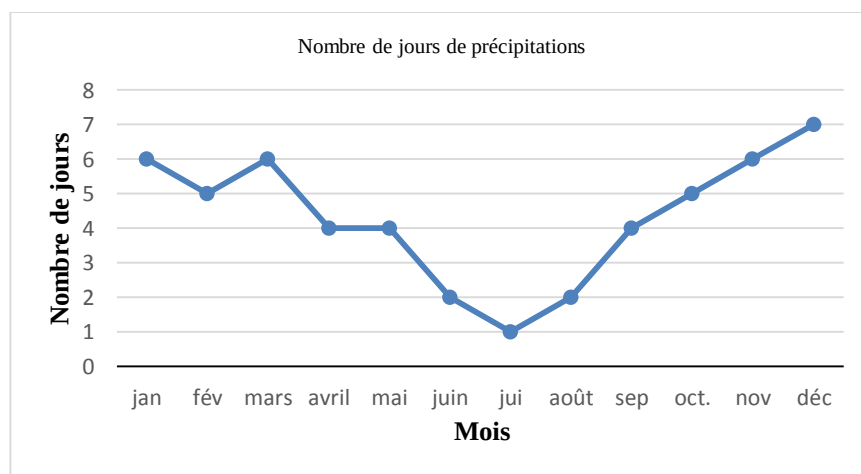


Figure 1.7 : Variations mensuelles des précipitations

Tableau 1.2: les valeurs moyennes mensuelles des précipitations. [1]

Mois	jan	fév.	mar.	avri	mai	juin	juin	aout	sep	oct.	nov	déc.	anné
Précipitations (mm)	24	9	21	12	13	8	2	7	20	20	29	31	196
Répart (%)	12.24	4.5	10.7	6.12	6.63	4.08	1.02	3.57	10.20	10.20	14.79	15.81	100
N.de jours avec précipitations	6	5	6	4	4	2	1	2	4	5	6	7	52

Les précipitations tombent à près de 78.5 % entre septembre et mars, pendant lesquels, il pleut plus de 5 à 7 jours par mois dans l'année, il y 52 journées pluvieuses.

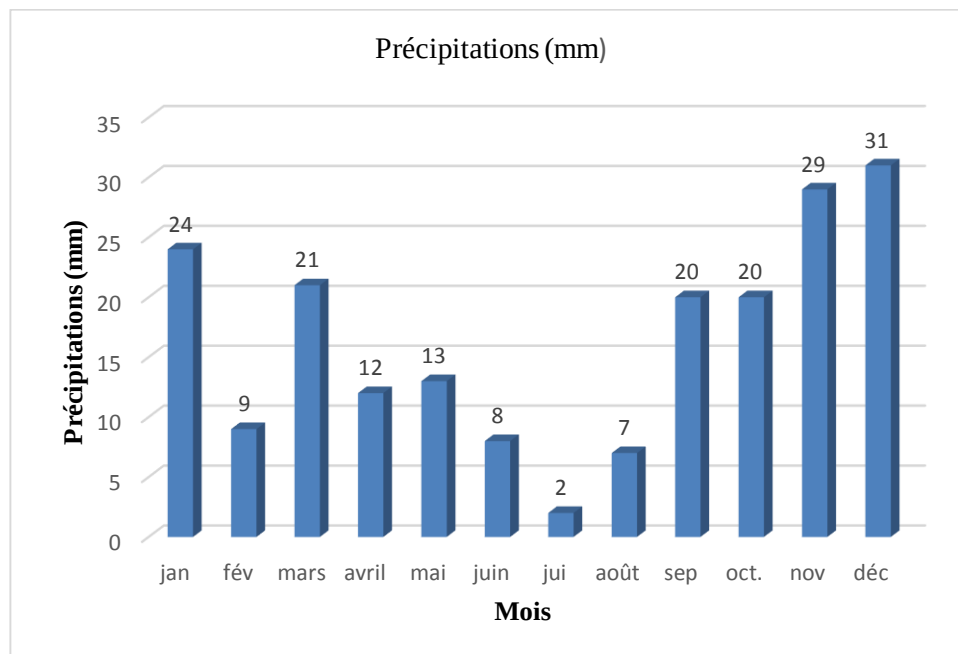


Figure 1.8 : Répartition des pluies moyennes mensuelles

1.3.3 L'humidité relative [2]

L'humidité relative correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante à la même température et pression.

L'humidité moyenne annuelle à Ain Touta est élevée, de l'ordre de 70 %, et évoluée régulièrement durant l'année. Les valeurs de l'humidité relative de l'année 2018 sont récapitulées dans le (tableau 1.3)

Tableau 1.3: Valeurs moyennes mensuelles de l'humidité [2]

Mois	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	jui	août	sep	oct.	nov	déc.	année
Humidité relative moyenne (%)	75	71	61	60,8	64,8	47,3	33,3	58,3	56,7	69,3	67,5	75,8	740,8

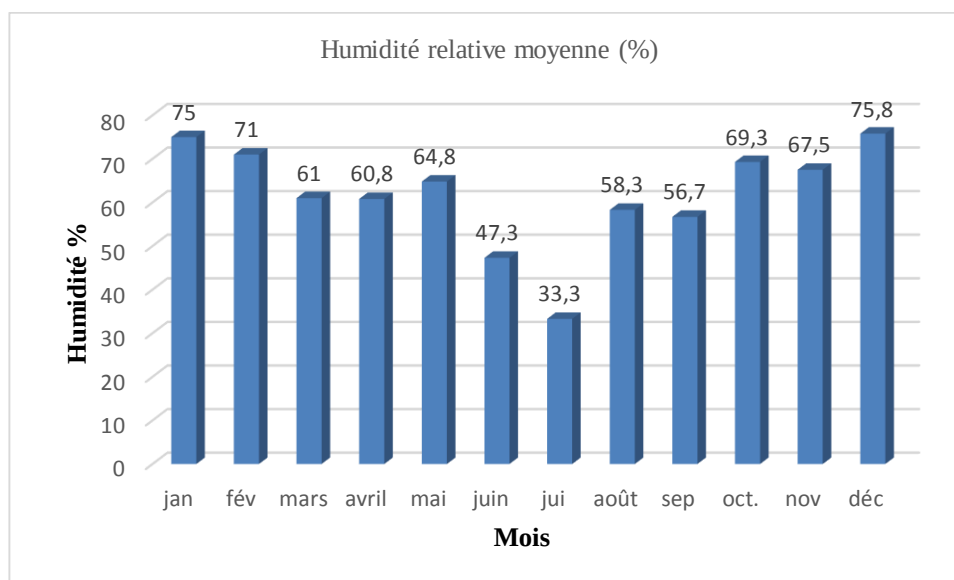


Figure 1.9 : Valeurs moyennes mensuelles d'humidité(%)

1.3.4 Vitesse moyenne du vent [2]

Les vents nord –ouest sont fréquents en Automne, Hiver et une partie au Printemps. Ces vents sont généralement pluvieux, les vents nord-est sont secs et froid, les vents sud chauds desséchant sont fréquent en juillet et surviennent assez tôt au printemps.

Les valeurs de la moyenne mensuelle du vent varient entre 28,8 m/s en Juin et 12,5 m/s en Décembre. Les valeurs sont récapitulées (tableau 1.4), l'évolution mensuelle de la vitesse du vent est représentée dans la figure 1.10

Tableau 1.4 : Valeurs moyennes des vitesses du vent [2]

Mois	jan	fev	mars	avril	mai	juin	jui	août	sep	oct.	nov	déc.	année
Vitesse moyenne du vent (m/s)	22	15.6	22.3	18.5	18	29	25.7	23.1	23.5	22	20.2	12.5	249.4

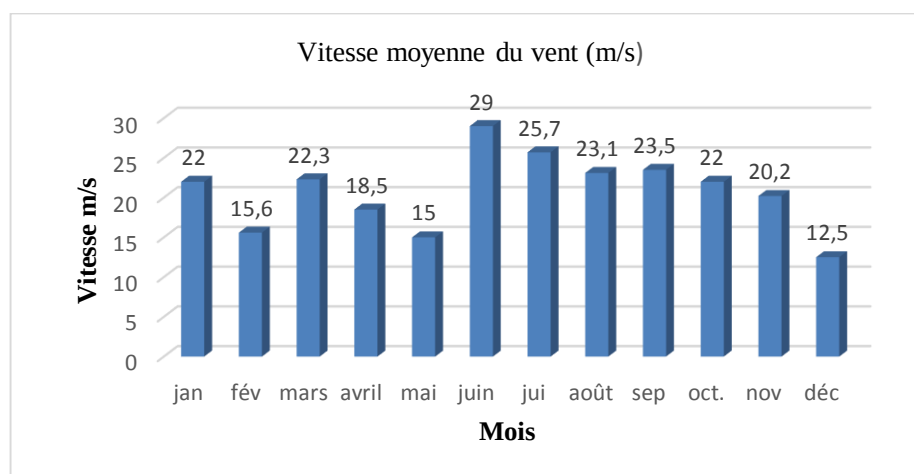


Figure 1.10 : Vitesses moyennes mensuelles du vent (m/s)

1.3.5 Météorologie [1]

L'évaporation est un phénomène spécifiquement physique qui intervient dans le cycle hydrologique. Le (tableau 1.5) illustre quelques valeurs de l'évaporation totale mensuelle à Ain Touta.

Tableau 1.5 : Evaporation totale mensuelle (mm) [2]

Mois	jan	fev	mars	avril	mai	juin	jui	août	sep	oct.	nov	déc
1995	61	93	104	143	259	298	355	289	195	111	128	88
1996	108	80	106	115	154	202	366	343	211	168	172	149
1997	92	92	125	154	298	409	365	315	161	106	94	76
1998	53	56	118	203	146	336	415	329	280	135	106	55
1999	69	65	100	195	301	330	312	412	205	176	94	42
2000	43	86	147	230	221	218	313	298	204	143	123	82
2001	68	81	205	150	210	282	366	294	150	145	63	41
2002	47	80	129	177	211	303	308	235	185	154	104	44
2003	52	45	69	91	132	215	296	263	145	137	60	35
2004	38	87	85	75	105	138	227	259	135	142	35	34
2005	33	43	92	103	172	222	291	254	155	92	74	36
2006	35	50	113	144	129	259	249	241	156	158	60	28
Total	699	858	1393	1780	2338	3212	3863	3532	2182	1667	1113	710

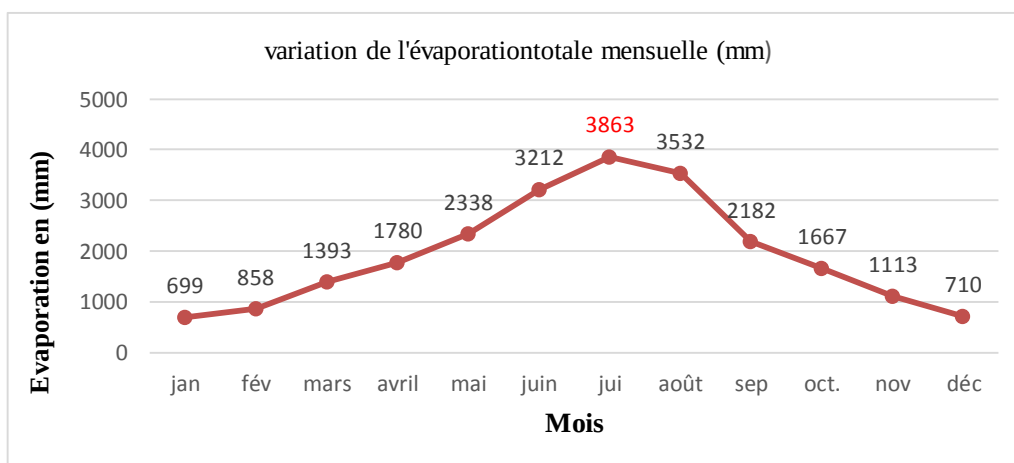


Figure 1.11 : Variation de l'évaporation totale mensuelle (mm).

D'après les résultats du tableau d'évaporation totale mensuelle, nous remarquons que l'évaporation marque son maximum en mois de juillet soit 3863 mm et que la min est enregistré en mois de janvier soit 699 mm.

1.4. Situation géologique [2]

Le relief est relativement accidenté : une zone de collines découpées sépare en effet le massif du Djebel Metlili, qui occupe la moitié sud de la feuille, des premiers contreforts des Monts Belezma.

Sur le plan géologique, l'existence de nombreuses fractures, associée à la présence d'une discordance des séries néogènes sur leur substratum et de recouvrements quaternaires relativement étendue, font qu'il est parfois difficile de reconnaître dès le premier abord les grands lignes de la structure qui sont cependant relativement simple.

1.5. Evolution démographique [1]

Selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2008, la Population de la commune d'Aïn Touta est évaluée à 59 904 habitants en 2008 contre 44 900 en 1998 (tableau 1.6). Aïn Touta est la troisième commune la plus peuplée Démographie de la wilaya de Batna après Batna et Barika.

Tableau 1.6 : Population de la commune d'Aïn Touta [1]

Année	1954	1966	1977	1987	1998	2008
Population de la commune d'Aïn Touta	380 600	20 004	31 761	296 000	44 900	59 904

1.6. Crue

La crue est une forte augmentation de la hauteur d'eau en écoulement d'un fleuve, d'une rivière, d'un cours d'eau. Le mot s'utilise fréquemment quand le débordement du lit mineur du cours d'eau commence à provoquer des dommages. Ce débordement provoque une inondation de zones plus ou moins éloignées des rives, en délimitant ainsi une zone inondable. La crue est suivie par une décrue.

1.7. Inondation [3]

Une inondation est la submersion d'une zone rapide ou lente qui peut être provoquée de plusieurs façons, par des pluies importantes en durée et en intensité.

Un cours d'eau présente :

- le lit mineur où les eaux y sont en permanence.
- le lit moyen qui est l'espace fluvial, ordinairement occupé par la ripisylve (végétation abondante et variée qui borde les rivières), sur lequel s'écoulent les crues aux périodes de retour de 1 à 10 ans en moyenne. Le lit moyen est donc soumis à un risque fréquent

d'inondation. La vitesse de l'eau y est forte et cet espace est soumis à de fortes érosions et transports solides lors des crues.

- le lit majeur qui est l'espace occupé par un cours d'eau lors d'une inondation. Hors du lit majeur, le risque d'inondation fluviale est nul (ce qui n'exclut pas le risque d'inondation par ruissellement pluvial, en zone urbanisée notamment).

1.7.1 Les différents Types d'inondations

Il existe trois principaux types d'inondations :

Par débordement direct : une inondation peut avoir lieu quand une rivière déborde donc le cours d'eau sort de son lit mineur pour occuper son lit majeur alors il envahit des vallées entières.

Par accumulation d'eau ruisselée : lorsqu'il y a une capacité insuffisante d'infiltration, d'évacuation des sols ou du réseau de drainage lors de pluies anormales. Ces inondations peuvent se produire en zone urbanisée, en dehors du lit des cours d'eau proprement dit, quand font obstacle à l'écoulement normal des pluies intenses, l'imperméabilisation des sols et la conception de l'urbanisation et des réseaux d'assainissement.

Par débordement indirect : les eaux remontent à travers les nappes alluviales, dans les réseaux d'assainissement dans des points bas localisés par effet de siphon.

1.7.2 Les Risques des inondations en Algérie [4]

Parmi les quatorze risques majeurs répertoriés par l'ONU, le risque d'inondation en Algérie fait partie des dix risques majeurs présents sur le territoire et cités par la loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable (J.O.R.A., 2004). Il est en deuxième position après les séismes et les risques géologiques dans le classement national des risques majeurs, vu l'ampleur des dégâts matériels et immatériels engendrés. Dans le cadre d'une analyse rétrospective des risques naturels, et dans notre cas le risque d'inondation, l'étude préliminaire consiste à établir un inventaire des catastrophes enregistrées sur le territoire algérien. La compilation la plus exhaustive possible de ces événements est nécessaire pour définir les villes confrontées à une récurrence significative des inondations et ainsi définir les causes de ces dernières. Elle est la base de toute étude d'occupation du sol, dont la stratégie nationale de lutte contre les inondations en territoire algérien issue de la collaboration entre l'Union Européenne et l'Algérie (Délégation de l'Union Européenne en Algérie, 2013). Cette initiative permettra de contribuer à l'aboutissement des deux objectifs primaires du projet. Ils se matérialiseront par une banque

de données de tous les principaux événements extrêmes survenus depuis 30 ans au minimum, et par l'identification des causes, naturelles ou anthropiques, de ces inondations pour l'intégralité du territoire algérien.

1.7.3 Les inondations en Algérie

Au cours de la décennie écoulée, plusieurs inondations sont enregistrées en Algérie parmi lesquelles nous citons :

- Le 20 octobre 1993 (ouest algérien) : 22 décès et 14 blessés à Quedrhieu (à chlef).
- Mois d'octobre 1994, des inondations ont été signalées dans plusieurs régions du pays, bilan 60 décès et des dizaines de disparus au cours de dix jours d'inondations.
- Le 22 octobre 2000 : des inondations à l'ouest algérien, plus de 24 décès.
- Les 10 et 11 novembre 2001 : à Bab El Oued (Alger), les pluies diluviennes ont fait 733 victimes, 30 000 personnes sans-abris et d'importants dégâts matériels.
- Le 1er octobre 2008 : des pluies diluviennes s'étaient abattues sur la région de Ghardaïa, faisant dangereusement monter les cours d'eau. Au moins 33 personnes sont mortes, quatre-vingt-quatre personnes ont été blessées et près de 600 maisons détruites dans des inondations très importantes.
- Le 09 octobre 2008 : dans la wilaya d'Aïn Defla, les intempéries ont causé six décès et huit autres blessés parmi la population, suite à une inondation qui a surpris la région.
- La nuit du 12 octobre 2008 a été fortement pluvieuse, de 20h45mn à 23h35 mn, de pluie ont été enregistrée, surtout dans les localités de Khemis Miliana et Sidi Lakhdar où la force de l'averse a fait que le revêtement bitumeux de la chaussée en certains endroits a été endommagé, de même que des habitations noyées par des eaux chargées de terre argileuse et de gravier. Des torrents de boue provenant des collines surplombant la ville de Khemis Miliana ont envahi la majorité des quartiers. Même la voie ferrée n'a pas été épargnée par ces inondations.
- Durant le mois d'Octobre 2008, d'autres crues et inondations sont signalées à Batna (450 km au sud-est d'Alger) où deux personnes ont été emportées par les eaux d'oueds en crue. A Bechar, région habituellement désertique et aride, situé à plus de 1.000 km au sud-ouest d'Alger, au moins huit personnes sont mortes noyées dans des inondations qui l'ont frappé mercredi et jeudi 15 et 16 octobre 2008.

◆ **Le nombre de construction, par wilaya, construites sur les zones inondables en Algérie**

Tableau 1.7 : Illustre le nombre de construction, par ville, construites sur les zones inondables [3].

Wilaya	Nombre de construction
Chlef	2248
Laghouat	3083
O. El bouaghi	1999
Batna	16261
Bejaïa	500
Biskra	763
Bouira	1438
Tamanrasset	1159
Tébessa	17236
Tlemcen	375
Tiaret	13
Alger	14545 quartiers Merdja et Baraki
Djelfa	784
Jijel	470 (zone à risque très élevés)
Sétif	1261
Saida	976 cités
Skikda	4009
S.B. Abbes	576 cités en centre-ville
Annaba	30 cités et quartiers
Guelma	360
Constantine	620
Médéa	3075
Mostaganem	1633
M'sila	1185
Oran	06 cités
Boumerdés	561
El teref	2370
Tissemsilt	1340
El oued	766
Souk Ahras	La plupart des communes
Tipaza	2710
Mila	1663
Ain defla	7772
Naama	4924

1.7.4 Causes des inondations catastrophiques en Algérie [4]

- **Situations météorologiques remarquables** se traduisant par une forte pluviosité (pluies importantes, orages violents)
- **Topographie défavorable** qui associée à la forte concentration et l'effet d'urbanisation présentent de grands risques
- **crues torrentielles** (crue-éclair) affectant le plus souvent les petits bassins
- **Grands bassins versants** résultant le plus souvent de précipitations importantes généralisées sur de grandes étendues et caractérisées par leur longue durée et la quantité de leur écoulement.
- Transport solide significatif dans 56% des cas.

1.8. Gestion des inondations

1.8.1 L'aménagement du bassin versant [3]

Du point de vue de la prévention des crues, l'aménagement du bassin versant apparaît comme fondamental tant au niveau des versants que du lit proprement dit.

a) Au niveau des versants

Le reboisement apparaît comme la première solution envisageable pour la protection des versants, car la forêt intercepte la pluie (réduction ou anéantissement de l'effet « Splash »), et retarde la fonte des neiges sous son couvert, accroît l'évapotranspiration (en particulier en été ou la transpiration des arbres contribue à l'assèchement des sols et l'abaissement du niveau des nappes phréatiques, au bénéfice de la rétention). L'humus forestier qui est relativement abondant, est capable d'absorber jusqu'à 10 fois son poids d'eau. Inversement, la destruction d'une forêt provoque un accroissement annuel de l'écoulement, mais aussi l'apparition de ravins. En cas d'absence de couverture végétale, l'érosion (depuis l'effet Splash jusqu'à l'écoulement concentré) se développe

b) Au niveau du lit

La correction des lits est souvent la solution proposée par les ingénieurs qui cherchent à accroître la section mouillée en élargissant les lits ou encore à les approfondir par des dérochements ou encore en érigeant des digues, Tous ces travaux ont pour but de minorer les niveaux, encore faut-il que ces interventions soient précédées d'une connaissance préalable de la crue maximale probable, et mieux encore du bassin versant. Le rééquilibrage qui consiste à rectifier la section d'écoulement et à augmenter le débit, permet d'évacuer plus rapidement la

crue, mais déplace le risque sur le secteur aval, sur des zones intermédiaires ne permettant pas de stocker une partie des eaux.

Le mieux est de chercher à étaler la crue que la contenir, un bon aménagement devrait donc examiner avec soin la solution des retenues de ralentissement, dans toutes les variantes axiales ou latérales selon les configurations locales et non pas seulement celle des barrages réservoirs.

Pour le lit des cours d'eau, il convient de cesser tout dragage, et d'interdire toute gravière de basse terrasse, notamment dans les zones amont des agglomérations.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini les données nécessaires concernant notre zone d'étude du point de vue géographique, géologique, topographique, climatologique et démographique, notre zone d'étude présente un relief relativement accidenté, un climat semi-aride ou la température moyenne allant de 25.4°C à 26°C, une précipitation moyenne égale à 255 mm. Ces derniers nous serviront de base pour l'élaboration de notre projet.

Chapitre 02 : Etude hydrologique

Introduction

L'étude hydrologique présentée dans ce chapitre a pour objectif d'estimer les différents volumes et débits qui traversent la zone d'étude, tels que les débits de crues, apports solides et liquides des sous bassins versants, qui nous serviront pour le dimensionnement des ouvrages constituant l'aménagement.

2.1. Délimitation du bassin versant de la zone d'étude

La délimitation de notre bassin versant est effectuée à l'aide du logiciel Mapinfo sur la carte d'état-major de Ain Touta NI - 31 – XXIV – 6- EST. La délimitation est basée sur la ligne de crête et des lignes de plus grandes pentes.

Le bassin versant de la zone d'étude à une forme allongée (figure 2.1). Pour une étude approfondie, nous avons divisé notre bassin en cinq (05) sous bassin qui sont illustrés dans la (figure 2.1)

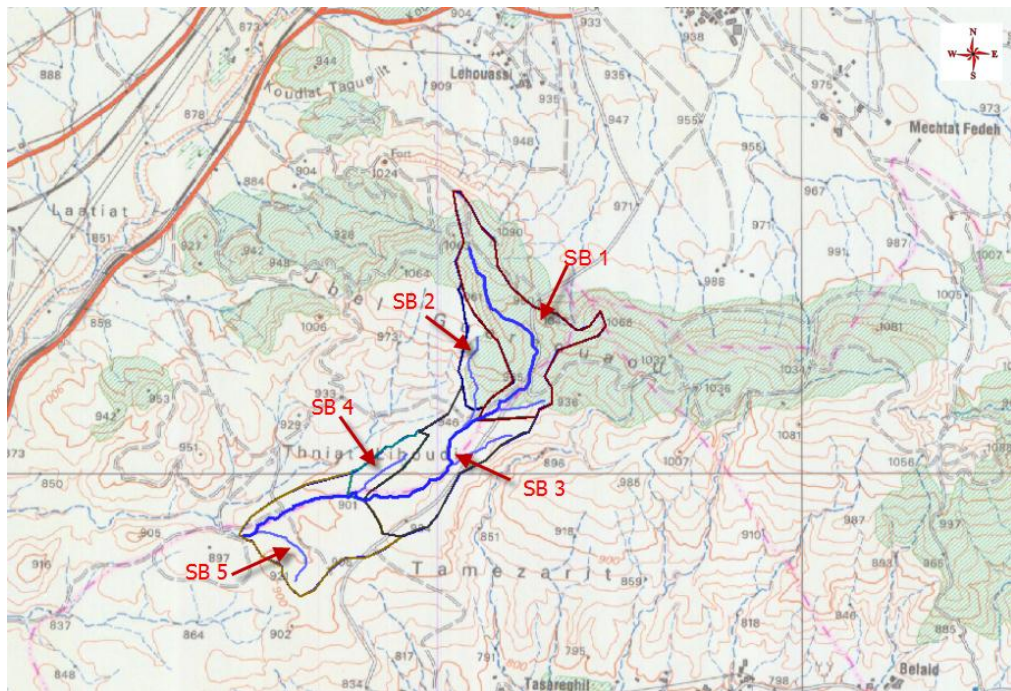


Figure 2.1 : Délimitation du bassin versant sur la carte calée d'état-major Ain Touta NI-31-XXIV- 6 Est

2.2. Morphométrie du bassin versant

2.2.1. La surface

La surface du bassin versant a une influence sur son comportement hydrologique. Elle permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologique (apport, volume de précipitation ou infiltration). Cette surface est calculée à l'aide d'un logiciel MAPINFO sur la carte d'état-major Ain Touta NI-31-XXIV- 6 calée comme le montre la figure 2.2

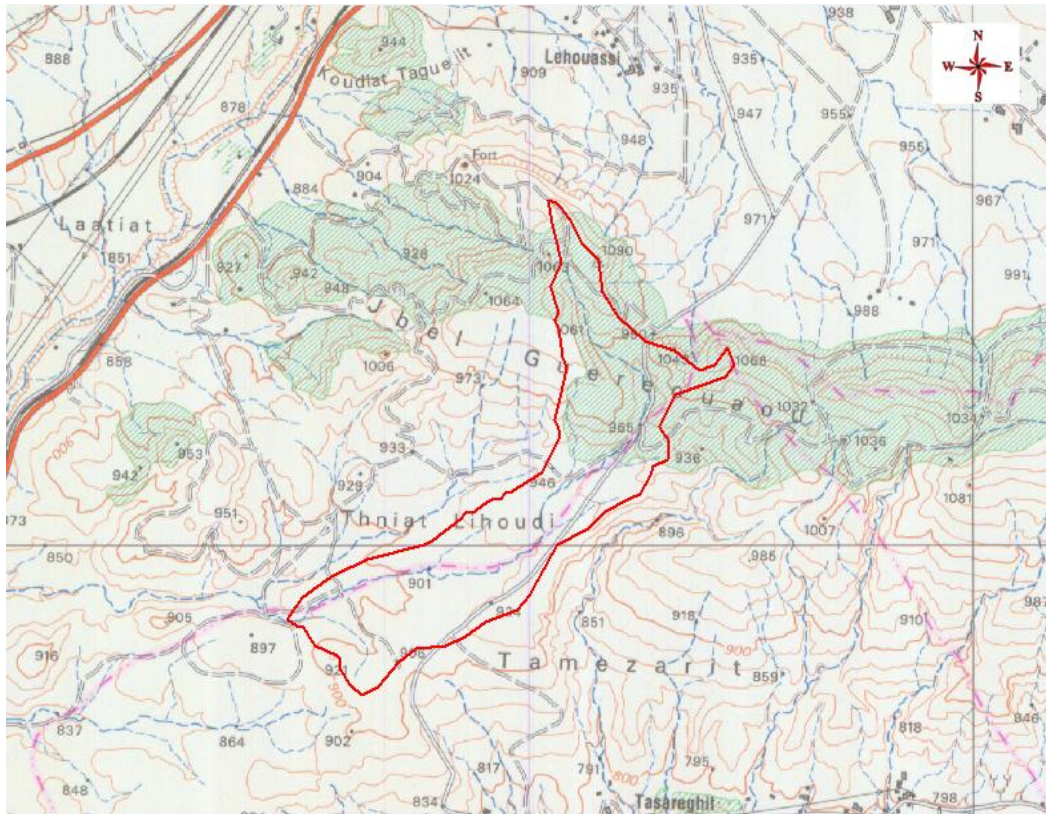


Figure 2.2 : Présentation du bassin versant Ain Touta sur la carte calée d'état-major Ain Touta NI-31-XXIV- 6 Est

2.2.2. Le périmètre

Le paramètre correspond à la limite extérieure du bassin, formant son contour et caractérisant sa longueur. Il a été obtenu par le logiciel MAPINFO.

Les résultats des caractéristiques morphométriques sont illustrés dans le tableau 2.1

Tableau 2.1 : Caractéristiques morphométriques des sous bassins

Sous bassin	Surface (km ²)	Périmètre (km)	Longueur de thalweg principal (Km)
SB1	0,69	5,56	1,709
SB2	0,21	2,37	0,8044
SB3	0,57	4,14	1,2848
SB4	0,13	1,78	0,5289
SB5	0,63	3,51	0,9296
Bassin versant	2,24	10,01	5,257

2.2.3. Indice de compacité ou de Gravelius K_c [5]

L'indice de compacité caractérise la forme du bassin versant, et renseigne sur la vitesse de concentration des débits et la puissance des crues et de l'érosion. K_c défini par la formule (2.1).

$$K_c = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (2.1)$$

Avec :

- P : périmètre du bassin versant en (km)
- S : surface du bassin versant en (km²)

Le coefficient K_c de Gravelius est supérieur à 1 pour la forme du bassin allongée et proche de 1 pour un bassin de forme circulaire.

Les résultats du calcul e l'indice de Gravelius des sous bassins, du bassin d'étude sont illustrées dans le (tableau2.2)

Tableau 2.2 : Caractéristiques morphométriques des sous bassins

Sous bassin	Indice de compacité	Remarque
SB1	1,87	Bassin allongé
SB2	1,45	Bassin allongé
SB3	1,53	Bassin allongé
SB4	1,39	Bassin allongé
SB5	1,24	Bassin allongé

2.2.4. Rectangle équivalent [5]

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimensions (L, l) ayant la même surface que celle du sous bassin. Elle permet de comparer les sous bassins entre eux du point de vue écoulement. Les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petites côtes du rectangle et l'exutoire est l'un de ces petites cotes (figure 2.3).

Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » défini par les formules (2.2), (2.3).

❖ **longueur du rectangle équivalent :**

$$L = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1.12} * \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right) \quad (2.2)$$

❖ **largeur du rectangle équivalent :**

$$l = \frac{Kc \cdot \sqrt{S}}{1.12} * \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc} \right)^2} \right) \quad (2.3)$$

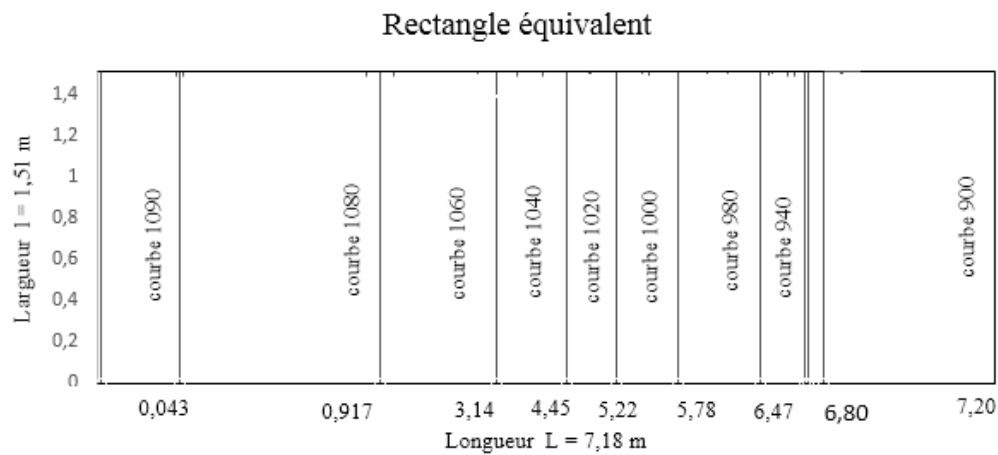


Figure 2.3 : Rectangle équivalent

Le (tableau2.3) illustre les longueurs et les largeurs équivalent des sous bassins

Tableau 2.3 : longueur et largeur équivalent des sous bassins

Sous bassin	Longueur lre (km)	Largeur lre (km)
SB1	2,50	0,28
SB2	0,97	0,22
SB3	1,74	0,33
SB4	0,71	0,18
SB5	1,26	0,50
Total	7,18	1,51

2.3. Le relief

Il est caractérisé par la courbe hypsométrique, elle fournit une vue synthétique de la pente du bassin versant, Cette courbe représente la répartition de la surface du sous bassin en fonction de son altitude. Elle est obtenue à partir des résultats de calcul présentés dans le tableau 2.5. Les surfaces partielles cumulées en % sont porte sur l'axe des abscisses, et les altitudes correspondantes sur l'axe des ordonnées.

2.3.1. Répartition des surfaces

Pour le bassin versant, les valeurs des surfaces partielles, comprises entre les déférentes courbes de niveau, sont donnés dans le tableau 2.4 dans lequel on calcule les surfaces cumulés et leur Pourcentage.

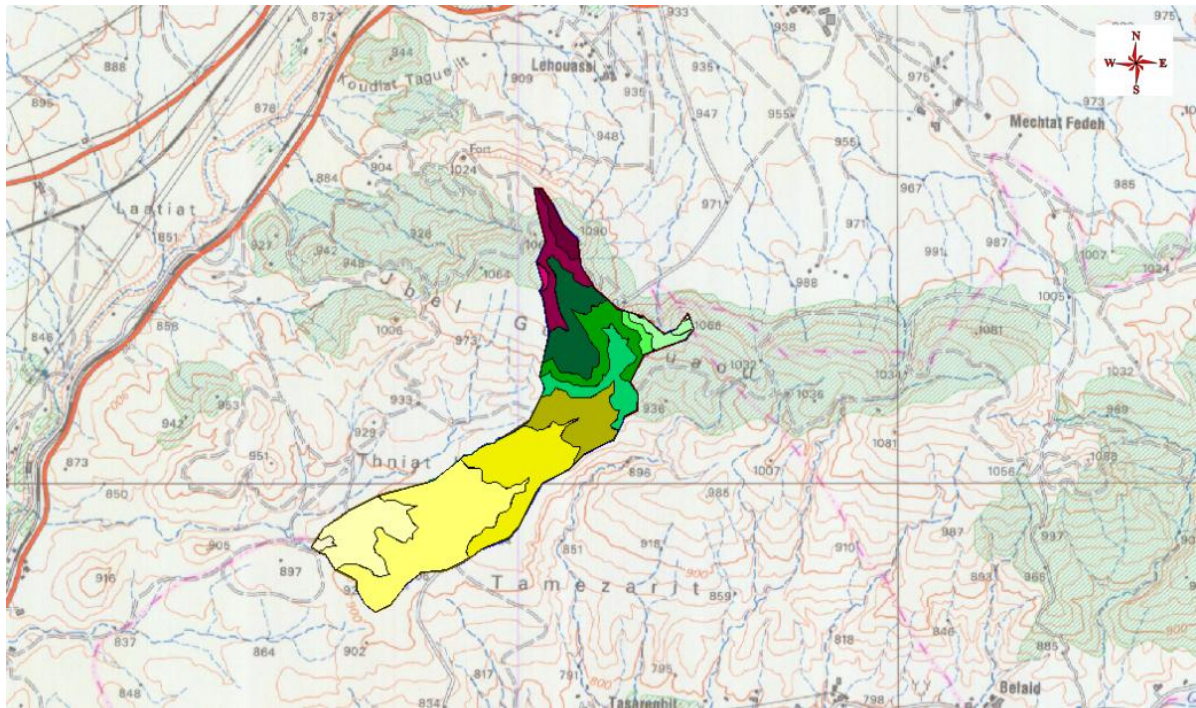


Figure 2.3 : répartition des surfaces partielle du bassin versant sur la carte calée d'état-major Ain Touta NI-31-XXIV- 6 Est

Tableau 2.4 : surface partielle

altitude	surface partielle (km2)
880-900	0.012053813
900-920	0.241697867
920-940	0.616935618
940-960	0.361562604
960-980	0.211705783
980-1000	0.154726003
1000-1020	0.191141262
1020-1040	0.254492417
1040-1060	0.134595305
1060-1080	0.009504745
1080-1090	0.048691812

2.3.2. Courbe hypsométriques

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin versant, cette courbe représente la répartition de la surface du sous bassin en fonction de son altitude. Elle est obtenue à partir des résultats de (tableau 2.5). Les surfaces partielles cumulées en % sont portées sur l'axe des abscisses, et les altitudes correspondantes sur l'axe des ordonnées (figure2.4).

Tableau 2.5 : Répartitions altimétriques du bassin versant

altitude	surface partielle (km ²)	surface cum (Km ²)	surface partielle en %	surface cumulé en (%)
880-900	0.012053813	2.237107	0.538794837	100.00
900-920	0.241697867	2.225053416	10.80368161	99.46
920-940	0.616935618	1.983355549	27.57647834	88.65
940-960	0.361562604	1.366419931	16.16152971	61.08
960-980	0.211705783	1.004857327	9.463061878	44.92
980-1000	0.154726003	0.793151545	6.916115936	35.45
1000-1020	0.191141262	0.638425542	8.543845933	28.54
1020-1040	0.254492417	0.44728428	11.37558674	19.99
1040-1060	0.134595305	0.192791863	6.016291511	8.62
1060-1080	0.009504745	0.058196557	0.424853737	2.60
1080-1090	0.048691812	0.048691812	2.176481078	2.18

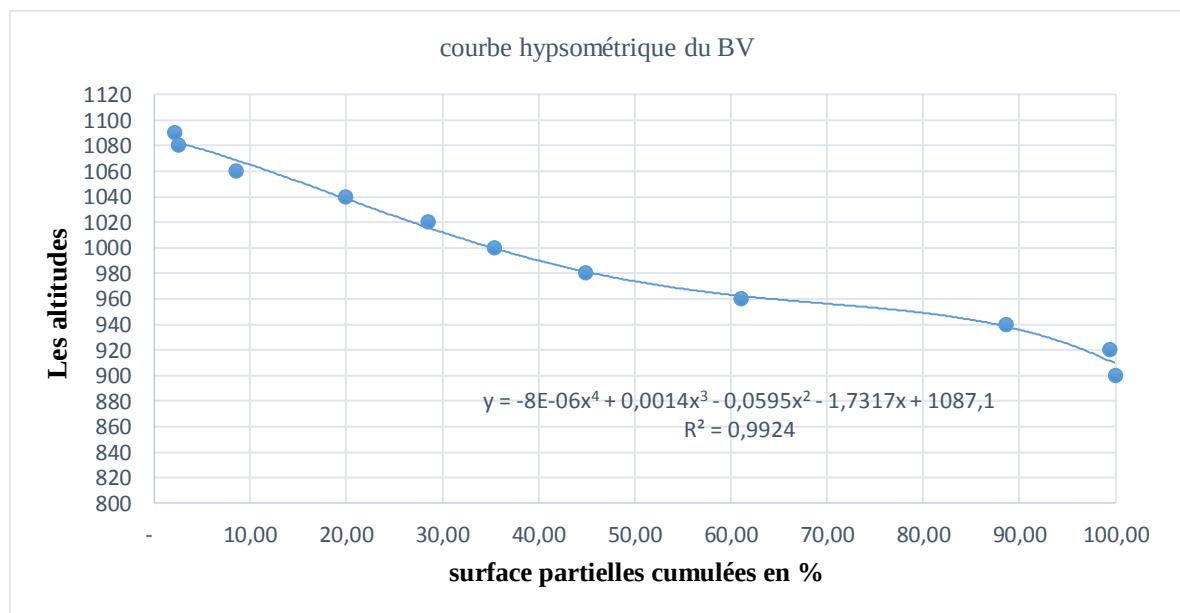


Figure 2.4 : La courbe hypsométrique du bassin versant

De cette courbe sont extraites les altitudes caractéristiques à 5 % et à 95% servant à évaluer la pente moyenne du thalweg principal, et autres paramètres hydrologiques.

Altitude à 5%	H 5% = 1077.12 m
Altitude a 95%	H 95% = 934.32 m
Altitude médiane	H med = 976.77 m

2.3.3. Les altitudes caractéristiques

- Les Altitude maximale et minimale

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale est le point le plus bas du bassin, généralement c'est à l'exutoire. Les résultats sont donnés dans le (tableau 2.6)

Tableau 2.6 : Altitudes caractéristiques des sous bassins versants

Sous bassin	SB1	SB2	SB3	SB4	SB5
Altitude maximale (m)	1 090,00	1 090,00	1 090,00	1 090,00	1 090,00
Altitude minimale (m)	940,00	960,00	920,00	901,00	880,00

- Altitude Moyenne [5]

L'altitude moyenne est calculée à partir de la formule (2.4).

$$H \text{ moy} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n [S_i \frac{h_i + h_{i+1}}{2}] \quad (2.4)$$

Avec :

- **H moy** : altitude moyenne du bassin versant en (m)
- **A** : surface totale du bassin versant en (km²)
- **S_i** : surface compris entre deux courbes de niveau en (km²)
- **h_i+h_{i+1}** : altitudes haut et bas qui délimite la surface S_i en (m)

$$H \text{ moy} = 968,16 \text{ m}$$

2.3.4. Indice de pente globale Ig [5]

Il est défini comme étant le rapport entre la différence d'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur de rectangle équivalent. Les altitudes correspondantes sont lues sur la courbe hypsométrique.

L'indice de pente globale est donné par formule (2.5).

$$I_g = \frac{D}{L} \quad (2.5)$$

Avec

- **D** : dénivelée entre H_{5%} et H_{95%} en (m)
- **L** : longueur de rectangle équivalent (Km)

H_{5%} et H_{95%} sont respectivement les altitudes correspondantes à S_{5%} et S_{95%}

$$I_g = 0.02 \text{ m/m}$$

2.3.5. La pente moyenne [5]

La pente moyenne s'exprime en (%) à partir de l'expression (2.6).

$$P_{\text{moy}} = \frac{\delta \left(\frac{l_0 + l_n}{2} + l_1 + l_2 + \dots + l_{n-1} \right)}{S} \quad (2.6)$$

Avec

- δ : dénivelée entre deux courbes de niveaux (m)
- L_i : longueur de la courbe de niveau d'ordre 1, 2, 3... n (km)
- S : surface de bassin versant (km²)

$$P_{\text{moy}} = 7 \%$$

2.3.6. Dénivelée spécifique D_s [5]

Elle sert à comparer les indices de pentes du bassin de superficies différentes, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tout le bassin quel que soit sa surface.

Elle est donnée par la formule (2.7).

$$D_s = D \sqrt{\frac{l}{L}} \quad (2.7)$$

Avec :

- D_s : dénivelée spécifique
- D : dénivelée entre $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ (m)
- l : largeur du rectangle équivalent (km)
- L : longueur du rectangle équivalent (km)

Les résultats de la dénivelée spécifique du bassin versant est donnée dans le tableau 2.7

Tableau 2.7 : dénivelée spécifique

Bassin versant	Altitude a 5%	Altitude a 95%	Largeur lre (Km)	Longueur Lre (Km)	Dénivelée spécifique D_s	Classification
	1 077,12	934,32	1,51	7,18	65,41	50 < D_s < 100 Relief modéré

D'après les résultats de calcul de dénivelée spécifique on déduit que le relief de bassin versant d'Ain Tout est u relief modéré.

2.4 Caractéristiques du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique constitue les chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. Il est caractérisé par la hiérarchisation du réseau, le nombre et les longueurs des cours d'eau et son profil en long.

2.4.1. Hiérarchisation du réseau

Pour la hiérarchisation de notre réseau hydrographique, nous nous sommes référés à la classification d'Horton, on classe de façon rationnelle les différents cours d'eau, selon leur importance (figure 2.4)

Ordre 1 : ruisseau qui n'a pas de tributaire (d'affluent).

Ordre 2 : ruisseau ayant au moins des affluents d'ordre 1.

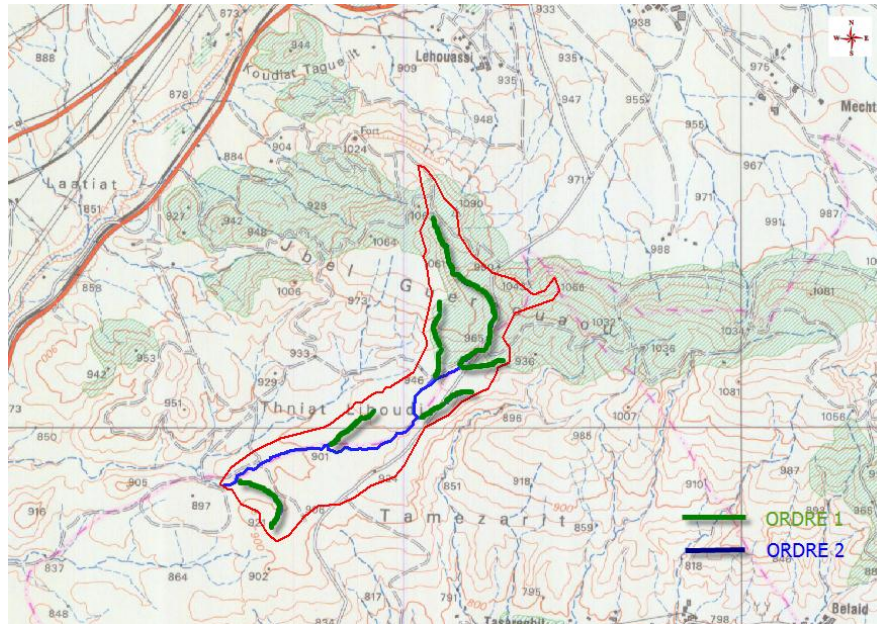


Figure 2.5 : Classification de réseau hydrographique

2.4.2. Densité de drainage

La densité de drainage est le rapport entre la longueur totale des talwegs du bassin versant et la surface de ce dernier. Elle est donnée par la formule (2.8) :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \quad (2.8)$$

Avec :

- D_d : densité de drainage en (km/km²).
- L_i : longueur talwegs en (km).
- S : surface du bassin versant en (km²).

$$D_d = 2.35 \text{ km/km}$$

2.4.3. La pente moyenne du cours d'eau principale [5]

La pente moyenne du cours d'eau principal permet de déterminer la vitesse d'écoulement vers l'exutoire. Une pente faible permet à l'eau de s'infiltrer dans le sol tant que qu'une forte pente facilite l'écoulement superficiel, elle est donnée par la formule (2.9)

$$P_{moy} = \frac{\Delta H}{L} \quad (2.9)$$

Avec :

- P_{moy} : pente moyenne du cours d'eau principale
- ΔH : la dénivellation entre H_{max} et H_{min} en (m)
- L : la longueur du cours d'eau principale

Les résultats des pentes moyennes sont donnés dans le tableau 2.4

Tableau 2.4 : La pente moyenne du cours d'eau principale					
sous bassin	Hmax (m)	H (min)	ΔH (m)	L (km)	P moy (%)
SB1	1090,00	940,00	150,00	1,709	87,77
SB2	1090,00	960,00	130,00	0,8044	161,61
SB3	1090,00	920,00	170,00	1,2848	132,31
SB4	1090,00	901,00	189,00	0,5289	357,34
SB5	1090,00	880,00	210,00	0,9296	225,90

2.5. Temps de concentration [5]

Le temps de concentration T_c est le temps que met une goutte d'eau pour arriver du point le plus éloigné du bassin versant vers l'exutoire du bassin versant. Il est calculé par plusieurs formules empiriques nous citons :

- **Formule de GIANDOTI :**

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (2.10)$$

Avec :

- T_c : Temps de concentration en (heure)
- S : Surface du bassin versant en (Km)
- L : Longueur du talweg principal en (Km)
- H_{moy} : altitude moyenne du bassin versant en (m)
- H_{min} : altitude minimale du bassin versant en (m)

- **Formule de PASSINI (pour les grands BV)**

$$T_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{S} \cdot L}{\sqrt{I_{moy}}} \quad (2.11)$$

- **Formule de KIRPICH**

$$T_c = 0.945 \frac{L^{1.155}}{D^{0.385}} \quad (2.12)$$

Avec :

- **D** : différence entre les extrémités du thalweg en (m)

- **Formule SR Etat de Californie**

$$T_c = 3.98 \left(\frac{L}{\sqrt{Imoy}} \right)^{0.77} \quad (2.13)$$

Les résultats obtenus de l'application des formules empiriques sont illustrées dans le tableau 2.5

Tableau 2.5 : Temps de concentrations pour les sous bassins avec les différentes formules

Temps de concentration	Tc	BV1	BV2	BV3	BV4	BV5
GIANDOTTI	h	1,67	1,43	1,02	0,38	0,67
PASSINI	h	0,53	0,17	0,34	0,09	0,24
KIRPICH	h	0,39	0,13	0,24	0,08	0,15
SR Etat de Californie	h	1,66	0,58	1,04	0,35	0,66

❖ Dans notre étude nous adoptons pour les résultats de la formule de **PASSINI**

2.5.1. Vitesse moyenne de ruissèlement

Vitesse moyenne de ruissèlement est donnée par la formule

$$V_r = \frac{L}{T_c} \quad (2.14)$$

Avec :

- V_r : Vitesse moyenne de ruissèlement (km/h),
- L : Longueur du talweg principale (km),
- T_c : temps de concentration (h).

Tableau 2.6 : Vitesse moyenne du ruissèlement

sous bassin	L (Km)	Tc (h)	Vr (km/h)
SB1	1,709	0,53	3,22
SB2	0,804	0,17	4,64
SB3	1,285	0,35	3,71
SB4	0,529	0,09	5,61
SB5	0,930	0,24	3,81

2.6. Analyse des données pluviométriques

Nous utiliserons pour les besoins du calcul des différents paramètres pluviométriques les données de la station pluviométrique d'Ain Touta.

- **La précipitation moyenne annuelle**

Celles sont obtenues à partir de la relation (2.15)

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (2.15)$$

- P_0 : précipitation moyenne annuelle
- P_i : précipitation moyenne mensuelle.
- n : nombre des valeurs observées.

- **L'écart type**

L'écart type σ est donné par la relation (2.16)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - P_0)^2}{n - 1}} \quad (2.16)$$

- **Le coefficient de variation**

Celui-ci est donné par la relation (2.17)

$$C_v = \frac{\sigma}{P_0} \quad (2.17)$$

2.6.1 Précipitations moyennes annuelles et maximales journalières de la station de Ain Touta

Les données des précipitations moyennes annuelles et maximales journalières à Ain Touta sont résumées dans le (tableau 2.7)

Tableau 2.7 : Données des précipitations moyennes annuelles et maximales journalières à Ain Touta

	Sep	Oct	Nou	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Ao	P.an (mm).	P0	Pjmax
1926	10,7	7,7	32,1	25,6	99,1	7,2	8,2	12	86,1	-	-	14,8	304	25	55,2
1927	32,5	80,7	39	95,6	45,8	3,4	67,6	1,2	25,8	0	66	17	475	40	31,2
1928	14	47,9	8,7	39,3	16,3	23,1	1,2	5,2	48,2	40,1	7,8	-	252	21	22
1929	41,9	13,7	20,2	0,9	31,3	26,7	17,1	20,1	31,8	-	-	-	204	17	31,8
1930	15,4	10,9	-	82,4	19,9	28,2	7,5	4,3	40,3	-	-	8,7	218	18	29,8
1931	30,9	5,4	5,1	8	31,3	20,8	53	-	5,1	6,6	11	5	182	15	31,5
1932	50,9	19,3	44,1	45,8	14,7	8	29,1	10,9	15,3	16,6	-	0,6	255	21	18,3
1933	26,3	5,5	91,9	61,3	35,8	5,7	29,1	11,5	39,1	12	19	-	337	28	28,7
1934	80,2	11,8	65,5	18,7	39,7	13,9	36,5	42,5	44,6	0,2	6,3	3,5	363	30	30
1935	57,6	90	20,7	19,4	9,4	23	17,3	32	19,4	-	-	-	289	24	57,2
1936	0,7	111,7	66,4	15,5	0,3	10,3	3,5	9,8	12,1	3,6	-	9,7	244	20	62
1937	8,5	28,3	9,7	31,3	11,9	13,5	-	31,6	9	28	-	16	188	16	28
1938	-	4,9	54	51,7	4,1	27,4	29,5	68,5	56,3	9,2	-	-	306	25	22,5
1940	10	51	4	8,9	25,5	-	9,1	52,5	38	-	-	-	199	17	50
1941	0	9	34	13	21,5	39,5	25	-	2	5	-	8,5	158	13	16
1942	33,5	10,5	29	47,5	-	25,5	33	53	2	-	-	-	234	20	25
1943	32	29,8	5,7	73	3	9,6	18	6	3,8	31	-	2	214	18	30
1946	-	-	-	-	13,7	19,9	3,1	13,9	0,3	-	75,6	20,2	147	12	37,9
1947	4	31	38,6	44	42,7	39,5	26,9	8,4	-	-	-	-	235	20	23,9
1967	61,1	4,3	82,2	35,3	6,5	30,9	34,4	38,1	12,9	27,2	-	7	340	28	27,6
1968	9,9	-	26,8	58,8	45,8	43	48,9	17,7	39,7	8,5	1,9	15,9	317	26	29,6
1969	83,1	143,3	30,6	52,9	44,4	-	21,3	29,7	32,8	-	-	-	438	37	32,8
1971	-	1,3	67,4	-	63,2	19,5	32,6	0	27,6	-	1,9	28,7	242	20	21,3
1972	141	19,4	16,2	22,9	54,3	42,6	-	43,4	0	15,8	4,9	4,9	365	30	69,6
1974	-	-	30,5	-	-	51,8	18,7	-	27,4	-	-	-	128	11	15,5
Moyenn e	29,7 7	29,50	32,90	34,0 7	27,2 1	21,3 2	22,8 2	20,4 9	24,7 8	8,15	7,78	6,5 0	265,2 9	22	33,10
Ecart- type	34,2 5	38,17	26,00	26,9 6	23,7 5	14,3 9	17,4 1	19,7 5	21,4 4	11,8 0	19,5 5	8,0 3	87,55	7	14,46
CV	1,15	1,29	0,79	0,79	0,87	0,68	0,76	0,96	0,86	1,45	2,51	1,2 4	0,33	0,0 3	0,44

2.6.2. Les précipitations maximales journalières fréquentielles

Les précipitations maximales journalières fréquentielles sont évaluées par deux lois de distribution

- Loi de Galton

$$P_{jmax\%} = \frac{P_{jmax}}{\sqrt{cv^2+1}} e^{u\sqrt{\ln(cv^2+1)}} \quad (2.18)$$

- **Loi de Gauss**

$$P_{jmax\%} = P_0 + (\delta * U) \quad (2.19)$$

Avec :

U désigne la variable de Gauss pour une période de retour donnée. Les valeurs de U sont résumées dans le (tableau 2.8)

Tableau 2.8 : Variable de Gauss pour une période de retour

Période de retour 1 fois tous les	2ans	4ans	5ans	10ans	20ans	25ans	50ans	100ans
Variable de Gauss U	0	0.675	0.842	1.282	1.644	1.751	2.054	23.30

- **Les débit spécifique fréquentiel**

Les débit spécifique fréquentiel $I\%$ sont donnés par la formule de MONTANA (2.20)

- **Formule MONTANA**

$$I\% = \frac{P_{jmax\%}}{24} * \left(\frac{t}{24}\right)^{b-1} * \frac{10000}{3600} \quad (2.20)$$

Avec :

- t : durée de l'averse qui est pris égale à 0.33 heure .
- b : exposant climatique qui est pris égale à **0.42 (AGC)**.

les précipitations maximales journalières fréquentielles notée **Pjmax%**, adoptées pour le calcul des intensités pluviométriques fréquentielles, représentent les valeurs maximales entre celles données par la loi de Galton et celle de la loi de Gauss .

les différents résultats obtenus sont données dans le Tableau 2.9.

Tableau 2.9 : Précipitations maximale journalières fréquentielles

période de routeur	P0	écart- type	CV	U	Pjmax%(Galton)	Pjmax%(Gauss)	Pjmax% de BV (mm)	I%(l/sha)
10 ans	22	14,46	0,44	1,282	51,83	40,64	51,83	72,08
20 ans	22	14,46	0,44	1,644	60,29	45,88	60,29	83,85
25 ans	22	14,46	0,44	1,751	63,05	47,43	63,05	87,69
50 ans	22	14,46	0,44	2,054	71,56	51,81	71,56	99,53
100 ans	22	14,46	0,44	2,330	80,31	55,80	80,31	111,70

La précipitation moyenne annuelle P_0 égale à 22.

2.7. Les apports [5]

2.7.1. Apports liquides

L'estimation des apports annuels permet, en dehors, du dimensionnement des ouvrages, de mieux appréhender les caractéristiques des crues et transports solides. Il existe plusieurs outils d'évaluation des apports liquides mis au point par différents auteurs depuis 1948.

Relation de COUTAGUNE (1948)

- Relation I

$$Le = 1.024(Pa - 0.26)^2 \quad (2.21)$$

Avec :

- Le : lame d'eau écoulée (m)
- Pa : pluviométrie moyenne annuelle (mm)

La pluviométrie moyenne annuelle à Ain Touta égale à 255 mm /an

Tableau 2.10 : Apports moyens interannuels des sous bassins versants selon la relation I de coutagune

paramétré	symbole	unité	BV1	BV2	BV3	BV4	BV5
la surface de bassin versant	S	km ²	0,69	0,21	0,57	0,13	0,63
pluviométrie annuelle moyenne	Pa	mm/an	255,00	255,00	255,00	255,00	255,00
la lame d'eau écoulée	le	m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		mm	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Volume	V	hm ³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Débit spécifique	Qsp	l/s.km ²	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Débit	Q	m ³ /s	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

- Relation II

$$Le = (0.164 - 0.00145\sqrt{s})Pa \quad (2.22)$$

Avec :

- S : la surface de bassin versant (Km²)
- Pa : pluviométrie moyenne annuelle (mm)

Tableau 2.11 : Apports moyens interannuels des sous bassins versants selon la relation II de coutagune

Paramètres	symbole	unité	BV1	BV2	BV3	BV4	BV5
la surface de bassin versant	S	km ²	0,69	0,21	0,57	0,13	0,63
pluviométrie annuelle moyenne	Pa	mm/an	255,00	255,00	255,00	255,00	255,00
la lame d'eau écoulée	le	m	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		mm	41,51	41,65	41,54	41,69	41,53
volume	v	hm ³	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03

Débit spécifique	Qsp	l/s.km2	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
Débit	Q	m3/s	0,0009	0,0003	0,0008	0,0002	0,0008

Relation de SAMIE

$$Le = 0.736(Pa - 0.232)^2 \quad (2.23)$$

Avec :

- Pa : pluviométrie moyenne annuelle (mm)

Tableau 2.12 : Apports moyens interannuels des sous bassins versants selon la relation de Samie

paramètre	symbole	unité	BV1	BV2	BV3	BV4	BV5
la surface de bassin versant	S	km2	0,69	0,21	0,57	0,13	0,63
pluviométrie annuelle moyenne	Pa	mm/an	255,00	255,00	255,00	255,00	255,00
la lame d'eau écoulée	le	m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		mm	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
Volume	V	hm3	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
Débit spécifique	Qsp	l/s.km2	0,01	0,01	5,48	0,01	0,01
Débit	Q	m3/s	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000

Relation d'ANRH (1985)

$$V = 0.915 * Pa^{2.685} * S^{0.842} \quad (2.24)$$

- S : la surface de bassin versant (Km²)
- Pa : pluviométrie moyenne annuelle (mm)

Tableau 2.13 : Apports moyens interannuels des sous bassins versants selon la relation d'ANRH

paramètre	symbole	unité	BV1	BV2	BV3	BV4	BV5
pluviométrie annuelle moyenne	Pa	mm/an	255,00	255,00	255,00	255,00	255,00
la surface de bassin versant	S	km2	0,69	0,21	0,57	0,13	0,63
la lame d'eau écoulée	Le	mm	24,72	29,86	25,47	32,22	25,11
volume	V	hm3	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02
Débit spécifique	Qsp	l/s.km2	0,78	0,95	0,81	1,02	0,80
Débit	Q	m3/s	0,0005	0,0002	0,0005	0,0001	0,0005

Tableau 2.14 : Tableau récapitulatif des résultats de la lame d'eau pour les différents BV

sous bassins	Lame d'eau Le (mm)				Moyenne
	Relation de COUTAGNE I	Relation de COUTAGNE II	Relation de SAMIE	formule ANRH	
SB 1	0,03	42	0,39	24,716	16,66
SB 2	0,03	42	0,39	29,861	17,98
SB 3	0,03	42	0,39	25,466	16,86
SB 4	0,03	42	0,39	32,225	18,58
SB 5	0,03	42	0,39	25,113	16,76

Tableau 2.15 : Tableau récapitulatif des résultats de l'apport moyen annuel pour les différents BV

sous bassins	Apport Moyen annuel V(Hm3)				Moyenne
	Relation de COUTAGNE I	Relation de COUTAGNE II	Relation de SAMIE	formule ANRH	
SB 1	0,002	0,03	0,000	0,017	0,01
SB 2	0,002	0,01	0,00	0,006	0,004
SB 3	0,002	0,02	0,10	0,015	0,03
SB 4	0,002	0,01	0,00005	0,004	0,00
SB 5	0,002	0,03	0,00	0,016	0,01

Tableau 2.16 : Tableau récapitulatif des résultats de l'apport moyen annuel pour les différents SB

Sous bassins	Débit spécifique q (l/s/km2)				Moyenne
	Relation de COUTAGNE I	Relation de COUTAGNE II	Relation de SAMIE	formule ANRH	
SB 1	0,0008	1,316	0,01	0,78	0,5283
SB 2	0,0008	1,321	0,01	0,95	0,5702
SB 3	0,0008	1,317	5,48	0,81	1,9002
SB 4	0,0008	1,322	0,01	1,02	0,5892
SB 5	0,0008	1,317	0,01	0,80	0,5316

Après analyse des résultats des différentes formules nous considérons que la formule la plus proche de la moyenne est celle d'ANRH.

2.7.2. Apports solides

Le manque de données de mesure du transport solide nous ramène à accepter toute méthode empirique qui nous permet d'avoir l'ordre de grandeur acceptable de l'écoulement solide.

- **Formule de TIXERONT**

Cette relation a été calée sur la base de corrélation établies entre l'apport moyen annuel (A) et un coefficient de perméabilité (α). Les informations de base sont issues d'observations et de mesures sur les oueds algériens et tunisiens ainsi que de leurs bassins versants.

$$T_a = \alpha \times Le^{0.15} \quad (2.25)$$

Avec :

- T_a : taux d'abrasion exprimé en t/km²/an.
- Le : lame d'écoulement exprimée en mm, déterminé à partir de l'apport liquide moyenne.
- α : paramètre caractérisant la perméabilité du bassin. Pour les bassins à perméabilité moyenne $\alpha = 75$ (tableau 2.17).

Tableau 2.17 : paramétré caractéristique de perméabilité

A	Degré de perméabilité
8,5	Elevée
75	Moyenne
350	Moyenne faible
1400	Faible
3200	Imperméable

Les résultats des apports liquides des sous bassin sont représentés dans le tableau 2.18

Tableau 2.18 : résultats des apports liquides des sous bassin

N° de SB	paramètres		Taux d'abrasion				Apports solides (m3/an)
	Symbole	Valeur	Suspension (t/km2.an)	Charriage (t/km2, an)	Total (t/km2.an)	Global (m3/km2.an)	
SB1	A	24,72	121,34	24,27	145,61	189,29	131,49
SB2	A	29,86	124,83	24,97	149,80	194,74	40,87
SB3	A	25,47	121,89	24,38	146,26	190,14	109,33
SB4	A	32,22	126,27	25,25	151,52	196,98	25,53
Sb5	A	25,11	121,63	24,33	145,96	189,74	119,17
Total			615,96	123,19	739,15	960,89	426,39

2.8. Les Débits de crues [5]

L'étude des crues a pour objectif d'estimer les débits de pointe et de définir la forme de l'hydrogramme de crue, afin de dimensionner les ouvrages de protection. Il existe une infinité des méthodes de calculs des débits de crues. Ces dernières peuvent être classées en deux catégories

- **Méthodes historiques** : Etudes des archives, enquêtes auprès des populations et recherches d'anciennes traces des crues. (Les niveaux atteints par les crues du passé).
- **Méthodes empiriques** : Relations établies entre le débit et la surface du bassin versant, la Pluie et la période de retour comme les formules

Dans notre étude, nous allons utiliser les méthodes empiriques. Car elles sont fréquemment utilisées et mieux adaptées pour les petits bassins.

- **Relation de TURAZZA (1947)**

Cette relation se base sur les pluies maximales journalières

$$Q_{max} f\% = \frac{P_{tc} f\% \cdot S \alpha}{3.6 \cdot T_c} \quad (2.26)$$

Avec :

- $Q_{max} f\%$: débit de crues de fréquence recherchée (m³/s).
- $P_{tc} f\%$: pluie de la même fréquence que $Q_{max} f\%$ (mm).
- S : surface du bassin versant.
- T_c : temps de concentration en heures.

Le coefficient de ruissellement α est relevé du tableau Klibachev Gorochkov, 1970 en fonction de la catégorie de sol, la surface de BV, P_{jmax} .

Catégorie de sol	Appellation des sols	Pjmax en mm	Superficie des B, V en km ²				
			< 0,1	0,1 - 1,0	1 - 10	10 - 100	> 100
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Asphalte, Roche non fissurée, Béton	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	Sols argileux gras, croûtes et sols encroûtés	< 80	0,80	0,70	0,65	0,65	0,60
		81 - 150	0,90	0,85	0,80	0,80	0,80
		151 - 200	0,95	0,90	0,90	0,90	0,90
		> 200	0,95	0,95	0,95	0,90	0,90

3	Sols argileux, podzols, sols podzolisés, sols forestiers d'argiles grises, sols argileux gris et lourds, Sols des toundras et marais	< 80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45
		81 - 100	0,80	0,75	0,70	0,65	0,65
		101 - 150	0,85	0,80	0,75	0,65	0,65
		151 - 200	0,85	0,85	0,80	0,70	0,70
		> 200	0,90	0,90	0,80	0,75	0,75
4	Tchernozeams, Sols châtaîns, Loess, Sols carbonates	< 80	0,55	0,45	0,40	0,35	0,30
		81-150	0,65	0,55	0,50	0,45	0,40
		151-200	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
		>200	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
5	Limon sableux, sols marron et gris- marron des zones steppiques et désertique, sols gris et limono sableux	<80	0,35	0,28	0,20	0,20	0,15
		81-150	0,45	0,35	0,25	0,25	0,20
		151-200	0,55	0,45	0,40	0,35	0,30
		>200	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
6	Sols sablonneux, graviers, sols à cailloux friables.						
		-	0,25	0,20	0,15	0,10	0,10

Le coefficient de ruissellement $\alpha = 0.2$.

P_{Tcf} % est la pluie de la même fréquence que $Q_{max} f$ % en (mm) et donnée par la relation :

$$P_{Tc} = P_{jmax\%} * \left(\frac{Tc}{24}\right)^{\beta} \quad (2.27)$$

- B : paramètre régional, pour notre zone d'étude il est pris égal à **0.38**

Les résultats de calcul du débit de crue pour les sous bassin sont illustres dans le (tableau 2.13)

Tableau 2.19 : Débit de crue des sous bassins versants

période de retour	Unité	débit de crue Q_{maxf} (m3/S) BV1	débit de crue Q_{maxf} BV2	débit de crue Q_{maxf} (m3/S) BV3	débit de crue Q_{maxf} (m3/S) BV4	débit de crue Q_{maxf} (m3/S) BV5
10 ans	m3/S	0,89	0,54	0,96	0,48	1,30
20 ans	m3/S	1,03	0,62	1,11	0,56	1,51
25 ans	m3/S	1,08	0,65	1,16	0,59	1,58
50 ans	m3/S	1,22	0,74	1,32	0,67	1,79
100 ans	m3/S	1,37	0,83	1,48	0,75	2,01
1000 ans	m3/S	1,89	1,14	2,04	1,03	2,77

2.8.1. Caractéristiques de la crue

L'hydrogramme de crue est une courbe qui nous renseigne sur les différentes caractéristiques de la crue : la durée et le débit de pointe qui sera le débit du projet.

L'hydrogramme de crue est modélisé à l'aide de deux équations paraboliques, l'une pour la montée de la crue et l'autre pour la décrue

- **Le temps monté**

$$Q_{mt} = Q_{max}(f) \left(\frac{t}{t_m} \right)^m \quad (2.28)$$

- **La décrue**

$$Q_{dt} = Q_{Tmax}(f) \left(\frac{t_b - t}{t_d} \right)^n \quad (2.29)$$

Avec :

- $Q_m(t)$: Débit instantané au moment de la montée (m³/s)
- $Q_{max, f}$: Débit maximum de crue (m³/s)
- $Q_d(t)$: Débit instantané au moment de la décrue (m³/s)
- t_m : temps de montée en heures
- t_d : temps de décrue en heures
- m et n : puissance des paraboles, pour les bassins versants de petits gabarits $m = 2$ et $n = 3$
- t_b : temps de base en heures.

Avec :

$$t_b = t_m + t_d$$

- le temps de montée (t_m) est assimilé au temps de concentration (t_c)
- le temps de décrue égale :

$$t_d = \gamma * t_m \quad (2.30)$$

- γ est un coefficient de forme estimé à partir de certaines caractéristiques physiques du cours d'eau $\gamma = 3$.

Tableau 2.20 : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue

N°	Description de forme de l'hydrogramme de crue	Y
1	petits cours d'eau et vallons dans des bassins versant dénudés et faiblement perméables	2,0 - 2,5
2	petits cours d'eau et vallons dans des bassins versant boisés ou perméables	3,0 - 4,0
3	Moyens cours d'eau avec terrasses de lit majeur normales	
4	Grande et moyens cours d'eau avec des terrasses de débordement étendues,	4,0 - 7,0

Dans ce qui suit, nous donnons les hydrogrammes des crues pour les différentes fréquences pour chaque sous bassin versant (tableau 2.14) à (tableau 2.23).

- Sous bassin N°1

Tableau 2.21 : Débit de crue de sous bassin N°1

période de retour	Unité	débit de crue $Q_{maxf\%}$ (m ³ /S) BV1
10 ans	m ³ /S	0,89
20 ans	m ³ /S	1,03
25 ans	m ³ /S	1,08
50 ans	m ³ /S	1,22
100 ans	m ³ /S	1,37
1000 ans	m ³ /S	1,89

Tableau 2.22 : Temps de monte et de décrue de sous bassins versant N°1

	heure	min
TC	0,53	31,84
Tm	0,53	31,84
Td	1,59	95,53
Tb	2,12	127,38

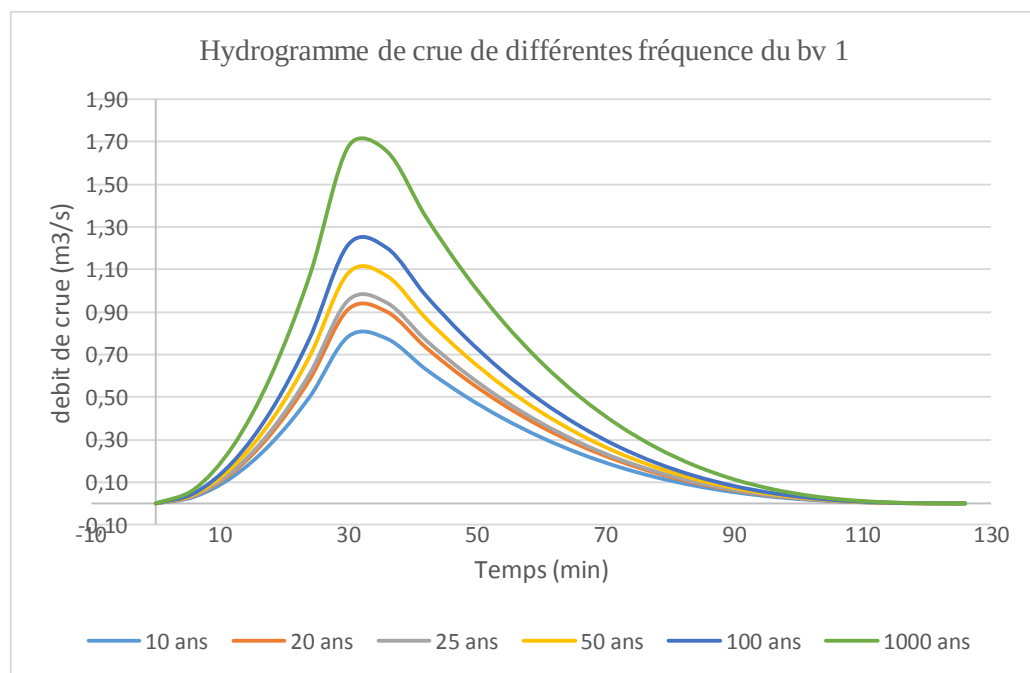


Figure 2.6 : Hydrogramme de crue de SB1

- Sous bassin N°2

Tableau 2.23 : Débit de crue de sous bassin N°2

période de retour	Unité	débit de crue $Q_{maxf\%}$ (m ³ /S) BV2
10 ans	m ³ /S	0,54
20 ans	m ³ /S	0,62
25 ans	m ³ /S	0,65
50 ans	m ³ /S	0,74
100 ans	m ³ /S	0,83
1000 ans	m ³ /S	1,14

Tableau 2.24 : Temps de monte et de décrue de sous bassins versant N°2

	heure	min
TC	0,17	10,40
Tm	0,17	10,40
Td	0,52	31,20
Tb	0,69	41,60

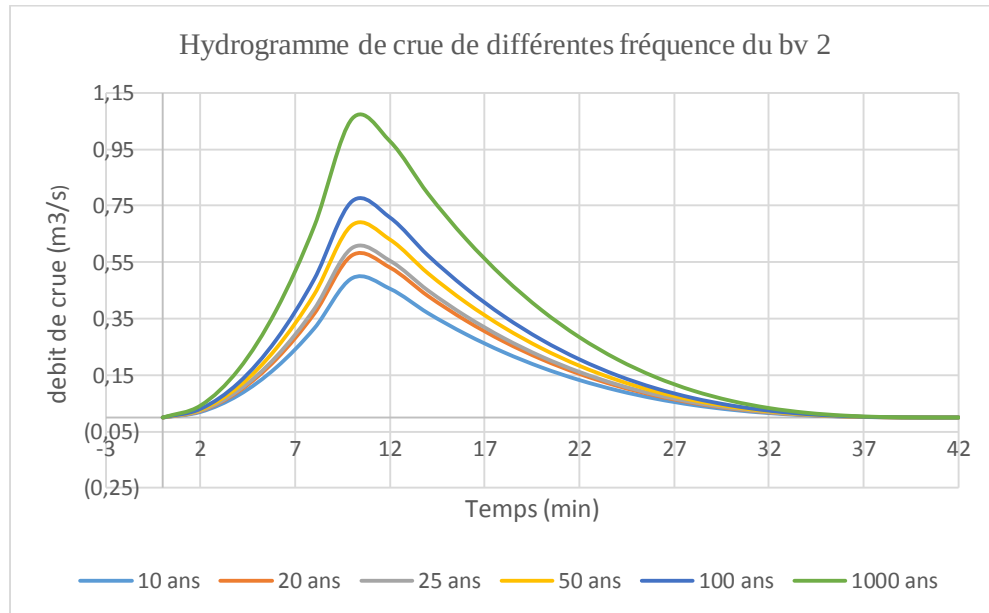


Figure 2.7 : Hydrogramme de crue de SB2

- Sous bassin N°3

Tableau 2.25 : Débit de crue de sous bassin N°3

période de retour	Unité	débit de crue $Q_{maxf\%}$ (m3/S) BV3
10 ans	m3/S	0,96
20 ans	m3/S	1,11
25 ans	m3/S	1,16
50 ans	m3/S	1,32
100 ans	m3/S	1,48
1000 ans	m3/S	2,04

Tableau 2.26 : Temps de monte et de décrue de sous bassins versant N°3

	heure	min
TC	0,35	20,75
Tm	0,35	20,75
Td	1,04	62,26
Tb	1,38	83,02

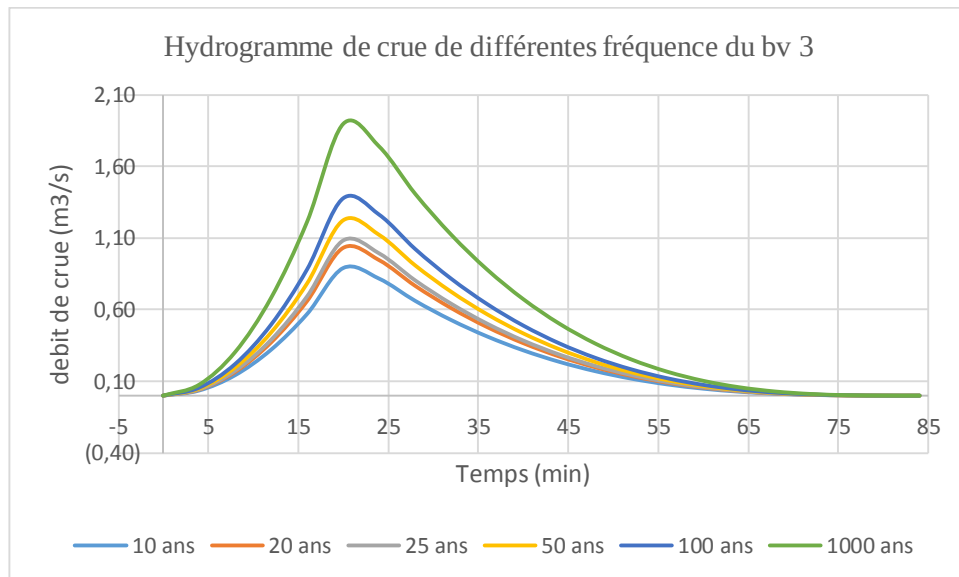


Figure 2.8 : Hydrogramme de crue de SB3

- Sous bassin N°4

Tableau 2.27 : Débit de crue de sous bassin N°4

période de retour	Unité	débit de crue $Q_{maxf\%}$ (m³/S) BV4
10 ans	m³/S	0,48
20 ans	m³/S	0,56
25 ans	m³/S	0,59
50 ans	m³/S	0,67
100 ans	m³/S	0,75
1000 ans	m³/S	1,03

Tableau 2.28 : Temps de monte et de décrue de sous bassins versant N°4

	heure	min
TC	0,09	5,66
Tm	0,09	5,66
Td	0,28	16,98
Tb	0,38	22,65

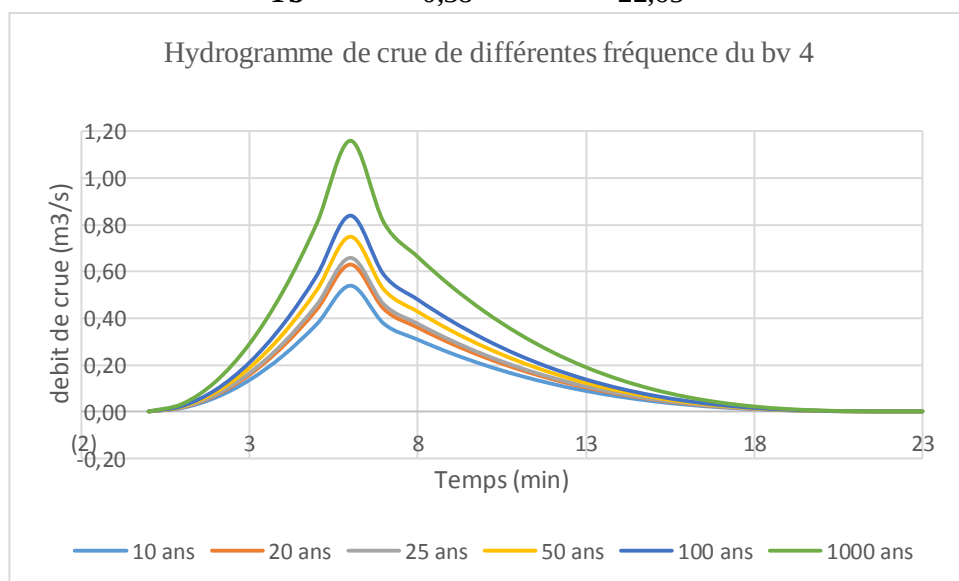


Figure 2.9 : Hydrogramme de crue de SB4

- Sous bassin N°5

Tableau 2.29 : Débit de crue de sous bassin N°5

période de retour	Unité	débit de crue $Q_{maxf\%}$ (m ³ /S) BV5
10 ans	m ³ /S	1,30
20 ans	m ³ /S	1,51
25 ans	m ³ /S	1,58
50 ans	m ³ /S	1,79
100 ans	m ³ /S	2,01
1000 ans	m ³ /S	2,77

Tableau 2.30 : Temps de monte et de décrue de sous bassins versant N°5

	heure	min
TC	0,24	14,65
Tm	0,24	14,65
Td	0,73	43,95
Tb	0,98	58,61

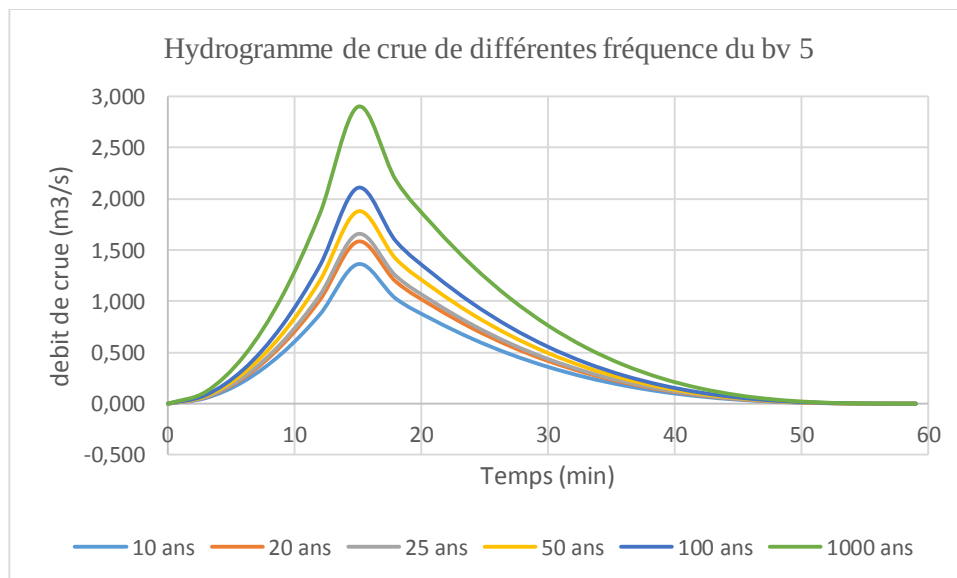


Figure 2.10 : Hydrogramme de crue de SB5.

Conclusion

Les hydrogrammes des crues établis permettent de voir l'évolution des débits dans le temps. Finalement, une évaluation plus ou moins variée a permis de fixer les valeurs de débits qui, traversent la ville d'AIN TOUTA. Ils ont permis de dimensionner les ouvrages proposés pour s'en protéger contre les inondations affectant cette dernière.

Les estimations hydrologiques de la présente étude ont été réalisées à travers des méthodes tenant en compte les caractéristiques morphométriques, géologiques des sous bassins versants. Les principaux résultats obtenus à l'embouchure de l'oued AIN TOUTA sont :

- Débit de crue centennale = $6.43 \text{ m}^3 / \text{S}$
- Apport liquide moyens = $0,00184 \text{ m}^3 / \text{S}$
- Apport solide moyens = $426.39 \text{ m}^3 / \text{an}$

Chapitre 03 : Etude géotechnique de la zone d'étude

Introduction

Le présent chapitre comporte les résultats des investigations in situ effectuées par le bureau d'étude AGC, à savoir une campagne de test par poinçonnement et une campagne d'investigation par sondages géotechniques. Ces résultats seront exploités afin d'identifier, d'un point de vue constructible, le terrain destiné à recevoir le projet d'aménagement d'un canal dans la zone d'AIN TOUTA se trouvant sur la rive droite de la route menant vers Barbat (commune de Maafa). L'assiette du projet est située en bas d'une petite butte rocheuse et boisée. Elle est chahutée et traversée par des talwegs. Il est à noter aussi que la zone est classée par le RPA 99 comme zone de faible sismicité

3.1. Reconnaissance IN-SITU

3.1.1. Phase de reconnaissance préliminaire

Une visite de site a été effectuée dans le but de faire un constat des lieux axé principalement sur les aspects suivants : la nature superficielle du terrain, la végétation, la présence des remblais, des talwegs, l'accessibilité du terrain aux moyens d'investigation, qui pouvant être utiles au choix du dispositif d'investigation le mieux approprié.

Les résultats de cette reconnaissance préliminaire aboutissent sur deux campagnes de poinçonnement et sondage géotechnique.

3.1.2. Phase d'intervention in-situ

Cette phase comprend deux campagnes :

a- Une campagne de tests par poinçonnement

Cette campagne d'essais de pénétration dynamique est effectuée au moyen d'un pénétromètre dynamique lourd de type BORRO-B2, qui permet de fournir la résistance dynamique du sol.

Cette campagne d'essais permet d'apprécier entre autre la succession de différentes couches de terrain, l'homogénéité ou l'hétérogénéité du sol, la présence des anomalies, l'existence d'un substratum dur...

Peut servir aussi à une orientation dans le choix des fondations et l'évaluation d'un ordre de grandeur de la capacité portante du sol.

Le principe de l'essai consiste à enfoncer dans le sol, par battage de manière continue un train de tige muni, en partie inférieure d'une pointe métallique.

On note le nombre de coups nécessaire pour chaque enfoncement de 20 cm de la pointe qui servira par la suite au calcul de la résistance dynamique apparente par l'emploi conventionnel de la formule de battage dites des Hollandais.

La fiche technique de l'appareil utilisé et les résultats des essais, sont joints en **annexe1**.

b- Une campagne d'investigation par sondage géotechniques

Les sondages géotechniques soient carottés ou à la tarière sont des essais primordiaux pour connaître les formations cachées et extraire des échantillons pour la pratique des essais de laboratoire afin de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques du sol.

Par ailleurs, ces essais physico-mécaniques permettent de calculer l'ampleur des tassements.

Cette campagne d'essais est réalisée par une sondeuse **FORACO SM 70** et une plessimètre **SEDIDRIL 100**.

La réalisation des sondages carottés sont présentes dans la figure 3.1

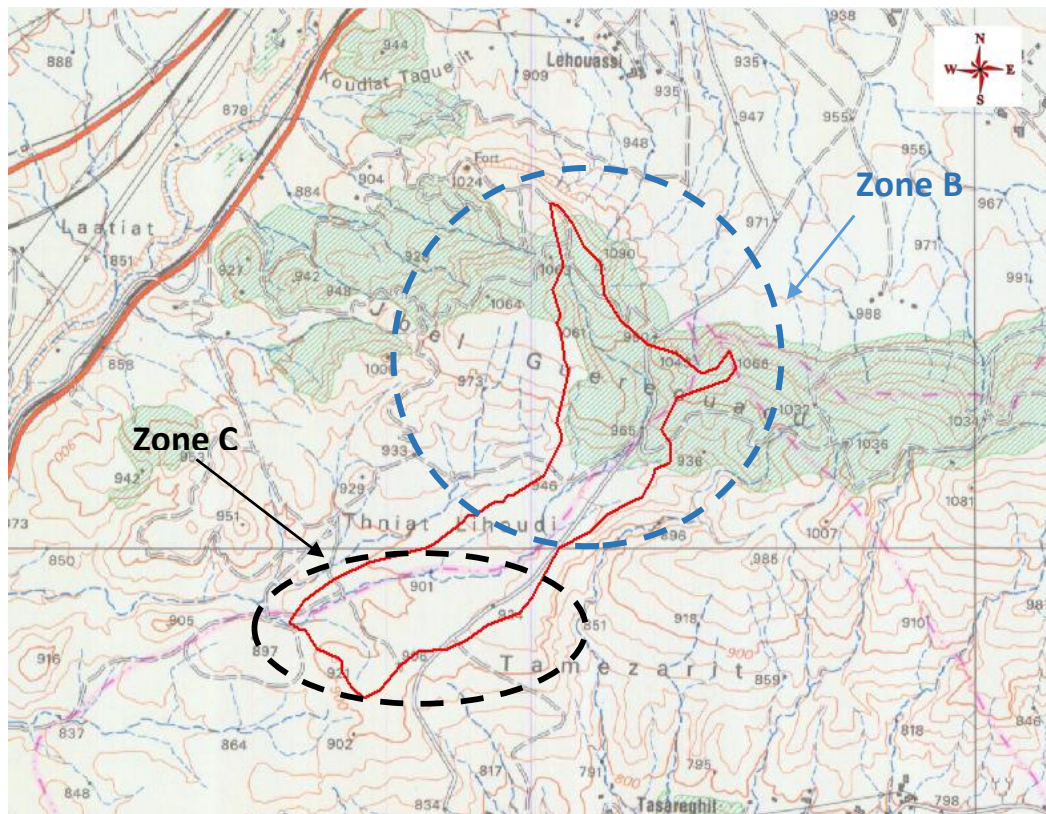


Figure 3.1 : Localisation des sondages carottés.

3.2. Résultats et interprétation des essais IN-SITU [6]

a- Par poinçonnement

Les résultats sont représentés sous forme de graphes montrant les résistances en abscisse en fonction des profondeurs en ordonnée. Ils sont notés de SP01 au SP98 (voir les pénétrogrammes joint en annexes).

A la lumière des diagrammes, nous pouvons en conclure que les résistances obtenues ont des valeurs satisfaisantes à très satisfaisantes jusqu'au refus.

La résistance dynamique de sol est estimée à partir des tests de poinçonnement est de l'ordre de :

$$Q_{adm} = \frac{Rp}{X} = \frac{66}{30} = 2.20 \text{ bars} \quad (3.1)$$

Avec :

- Rp : Résistance dynamique apparente moyenne en bars
- X : Coefficient dépendant de la nature du sol et de l'appareillage.

Les résultats des essais IN-SITU (les graphes et les courbes) sont données en annex 1.

b- Par sondages carottés

La réalisation des sondages carottés a révélé les formations suivantes

- **Sondage 01 (Zone B)**

Tableau 3.1 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage carotté (zone B). [6]

Profondeur (m)	Type de couche
0.00 - 0.20	Terre de recouvrement
0.20 - 1.50	Limon argilo-sableux brunâtre à jaunâtre carbonaté
1.50 - 2.00	Marne friable verdâtre
2.00 - 2.50	Calcaire
2.50 - 3.00	Marne verdâtre à grisâtre très fortement gypseuse et carbonatée
3.00 - 6.00	Marne verdâtre avec la présence des traces carbonatées
6.00 - 7.50	Marne friable
7.50 - 10.00	Marne feuilletée verdâtre

- **Sondage 01 (Zone C)**

Tableau 3.2 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage carotté (zone C). [6]

Profondeur (m)	Type de couche
0.00 - 0.20	Terre végétale
0.20 - 1.00	Limon brunâtre
1.00 - 1.50	Argile brunâtre
1.50 - 2.00	Argile limoneuse brunâtre fortement carbonatée
2.00 - 3.00	Argile brunâtre fortement carbonatée
3.00 - 3.60	Sable grossier graveleux argileux
3.60 - 4.00	Limon brunâtre

4.00 - 4.50	Argile brunâtre à jaunâtre carbonatée
4.50 – 5.40	Marne friable
5.40 – 10.00	Marne feuilletée

La prospection par sondage carottés a révélé un sol constitué essentiellement de la marne

c- par sondages à la tariere.

Les sondages à la tarière ont révélé les formations suivantes

- Sondage à la tarière zone B

• Sondage à la tarière N°1

Tableau 3.3 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage à la tarière N°1. [6]

Profondeur (m)	Type de couche
0.00 - 0.50	Terre végétale
0.50 - 1.50	Limon sablo-argileux brunâtre
1.50 - 6.00	Marne verdâtre

• Sondage à la tarière N°2

Tableau 3.4 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage à la tarière N°2. [6]

Profondeur (m)	Type de couche
0.00 - 0.30	Terre végétale
0.30 - 1.50	Limon sablo-argileux brunâtre
1.50 - 3.00	Marne verdâtre

• Sondage à la tarière N°3

Tableau 3.5 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage à la tarière N°3. [6]

Profondeur (m)	Type de couche
0.00 - 0.30	Terre végétale
0.30 - 1.50	Limon sablo-argileux brunâtre
1.50 - 3.00	Argile brunâtre
3.00 - 6.00	Argile brunâtre à tendance marneuse

- **Sondage à la tarière zone C**

• **Sondage à la tarière N°1**

Tableau 3.6 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage à la tarière N°1. [6]

Profondeur (m)	Type de couche
0.00 - 0.30	Terre végétale
0.30 - 3.00	Argile limoneuse brunâtre
3.00 - 6.00	Marne jaunâtre

• **Sondage à la tarière N°2**

Tableau 3.7 : Type de couche en fonction de la profondeur par sondage à la tarière N°2. [6]

Profondeur (m)	Type de couche
0.00 - 0.30	Terre végétale
0.30 - 1.50	Argile limoneuse brunâtre
1.50 - 3.00	Marne jaunâtre

La prospection par sondage à la tarière a révélé un sol constitué essentiellement de la marne.

3.3. Résultats des essais de laboratoire

• **Analyse granulo-sédimentométrique (NFP 94-056 et NFP 94-057)**

Tableau 3.8 : Les résultats d'analyse granulo-sédimentométrique. [6]

Diamètre Des Grains Sondage profondeur	Argile ($d < 2\mu$) %	Limon ($0.2\text{mm} > d > 2\mu$) %	Sable fin ($0.2\text{mm} > d > 2\text{mm}$) %	Gros sable ($2.0\text{mm} > d > 0.2\text{mm}$) %	Graviers ($20\text{mm} > d > 2\text{mm}$) %	Calleux ($d > 20\text{mm}$) %	Nature de l'échantillon
Zone B							
SC1/5.20-5.4m	56%	24%	14%	4%	8%	/	ARGILE
Zone C							
SC1/2.00-2.60m	54%	24%	10%	4%	8%	/	ARGILE

Les échantillons analysés contiennent plus de 80% d'élément dont le diamètre est inférieur à 0.08 mm, ce qui les classe parmi les sols fins. Ce sont des Argile d'après la classification triangulaire de CASAGRANDE.

- Paramètres physiques (NF 94-050 et NF P 94-053)

Tableau 3.9 : Les résultats des essais physiques. [6]

Paramètres mesures sondage profondeur	Densité humide γ_h	Densité sèche γ_d	Teneur en eau naturelle W_n (%)	Teneur en eau des saturations W_s (%)	Degré de saturation S_r (%)
Zone B					
SC1 / 5.20 - 5.40 m	1,91	1,75	9,19	20,11	45,67
Zone C					
SC1 / 2.00 - 2.60 m	1.91	1.71	11.38	21.45	53.06

Les échantillons testés sont humides, denses et non saturés.

- Essais Mécaniques (NF P 94-071, NF P 94-090-1 et 091)

Tableau 3.10 : Les résultats des essais mécaniques. [6]

Paramètres mesures Sondage profondeur	Cohésion C_u (bras)	Angle de frottement ϕ_u (°)	Pression effec P_0 (bars)	Pression Consolidation P_c	Coefficient de compression C_c (%)	Coefficient de gonflement C_g (%)	Pression de gonflement P_g (bars)
Zone B							
SC1 / 5,20 - 5,40	1,34	12,18	1,01	1,64	14,77	6,04	1,7
Zone C							
SC1 / 2,00 - 2,60	1.22	12.52	0.44	1.23	14.77	5.84	1.51

Les échantillons analysés sont sur consolidés, moyennement compressibles et gonflants.

- Limite d'Atterberg selon la norme NF 94-051

Tableau 3.11 : Limite d'Atterberg en fonction de la profondeur. [6]

Paramètres mesures Sondage profondeur	Limite de liquide WL (%)	Limite de plasticité (WP %)	Indice de plasticité (IP %)	Interprétation
Zone B				
SC1 / 5,20-5,40 m	60,74	19,95	40,79	Argile très plastique
Zone C				
SC1 / 2,00-2,60 m	51.99	21.46	10.53	Argile très plastique

- Analyses chimiques selon la NF P 18-011

Tableau 3.12 : Les résultats d'analyse chimiques selon la norme NF 94-051. [6]

Teneur en Sondage profondeur	SO4-	CaCo3	CL	Matière organique	Niveau d'agressivité	Interprétation
Zone B						
SC1 / 5,20-5,40 m	1,70%	38,80%	0,81%	0,057%	A3	Fortement à très fortement agressif
ST1 / 1,50-2,00 m	5,95%	52,40%	0,79%		A4	
ST2 / 4,50-5,00 m	2,80%	49,60%	0,32%		A4	
ST3 / 1,50-2,00 m	4,03%	46%	0,89%		A4	
Zone C						
SC1 / 2,00-2,60 m	8.01%	51.2%	1.13%	0.057%	A4	Fortement à très fortement agressif
ST1 / 3,00-3,50 m	3.00%	57.6%	0.335%		A4	
ST2 / 1,50-2,00 m	1.60%	52%	0.39%		A3	

La classification des sols agressifs et les mesures de protection sont regroupées dans le tableau 3.10

Tableau 3.13 : classification des sols agressifs et les mesures de protection.

Niveau d'agressivité	A4
Environnement	Très fortement agressif
choix de ciment	Ciment spécial résistant aux sulfates
Protection supplémentaire	Nécessite d'une protection externe (enduits, peintures) interne imprégnation
Dosage mini en ciment (Kg, m-3) (*)	$700/\sqrt[5]{D}$
E/C (**)	$\leq 0,50$
Granulat	Granulométrie conforme aux réglé de composition des bétons
Ouvrabilité du béton	Consistance compatible avec une bonne mise en place et conduisant à la compacité maximale du béton vibration, usage éventuel d'adjuvants,
Enrobage des armatures (***)	≥ 40 mm
D :	Dimension maximale des granulats en mm
(*) :	Dans le cas du béton précontraint et de mer, le dosage minimal est toujours $700/\sqrt[5]{D}$
(**) :	les valeurs d'E/C données à titre indicatif ne sont pas indépendantes de la catégorie de ciment
(***) :	Dépend aussi de la dimension des granulats et des règlements de calcul du projet

- **Récapitulatif des résultats de calcul des tassements**

Tableau 3.14 : Récapitulatif des résultats de calcul des tassements. [6]

Profondeur (m)	Cc (%)	E ₀ +1	Pc (bars)	Δs (bars)	S ₀ (bars)	Iz	ΔH (cm)
2,5 - 4,0	13,05	1,511	1,11	1,6	64	8	4,41
4,00 - 6,00	13,05	1,509	1,46	32	99	16	21
6,00 - 8,00	13,05	1,507	1,86	1025	1,38	51	53

- Contrainte de service = 2 Bars.
- Tassement total = 4.67 cm
- Largeur de la semelle = 1.5 m

❖ **Zone B****Tableau 3.15 : Récapitulatif du calcul de la portance (zone B). [6]**

Couche N°	B (m)	L (m)	Ng	Nq	Nc	Qadm (bars)
1	1,5	1,5	1,43	3,02	9,37	6,29

Contrainte admissible retenue = 6.4 Bars

Tableau 3.16 : Les résultats de calcul des tassements (zone B). [6]

Profondeur (m)	Cc (%)	E ₀ +1	Pc (bars)	Δs (bars)	∞ (bars)	Iz	ΔH (cm)
2,5 - 4,00	14,77	1,505	1,26	1,6	0,62	0,8	4,313
4,00 - 6,00	14,77	1,503	1,6	0,32	0,95	0,16	0,246
6,00 - 8,00	14,77	1.5	1,98	0,102	1,33	0,051	0,062

- Contrainte de service = 2 Bars
- Tassement total = 4.62 cm
- Largeur de la semelle = 1.5 m

❖ **Zone C****Tableau 3.17 : Récapitulatif du calcul de la portance (zone C). [6]**

Couche N°	B (m)	L (m)	Ng	Nq	Nc	Qadm (bars)
1	1,5	1,5	1,69	3,12	9,55	5,91

Contrainte admissible retenue = 5.91 Bars

Tableau 3.18 : Les résultats de calcul des tassements (zone C). [6]

Profondeur (m)	Cc (%)	E ₀₊₁	Pc (bars)	Δs (bars)	∞ (bars)	Iz	ΔH (cm)
2,5 - 4,00	14,77	1,475	1,37	1,6	0,6	0,8	3,968
4,00 - 6,00	14,77	1,473	1,69	0,32	0,93	0,16	0,256
6,00 - 8,00	14,77	1,471	2,07	0,102	1,3	0,051	0,065

- Contrainte de service = 2 Bars
- Tassement total = 4.29 cm
- Largeur de la semelle = 1.5 m

Les tassements calculés pour toutes les zones sont admissibles pour une contrainte de 2.00 bars.

Conclusion

Au terme de cette étude géotechnique, nous pouvons en conclure que le terrain destiné à recevoir la zone technique et la zone vie au profit de l'Emrgmu à Ain Touta est constructible.

- La prospection par sondage carottés et sondages à la tarière a révélé un sol constitué essentiellement de la marne.
- Le sol est classé parmi les terrains moyennement compacté à compacts d'après DTR-BE et appartiennent à la catégorie S3 selon la classification du RPA 99 version 2003.
- Les formations testées sont denses, humides, sur consolidées, moyennement compressibles et gonflantes.
- A la lumière des résultats obtenus par campagne des essais in-situ (sondages carottés, sondages à la tarière et pénétration dynamique lourde) et les essais de laboratoire, nous vous recommandons ce qui suit :

- 1- Un taux de travail admissible $Q_{adm} = 2.00$ bars.
- 2- Un ancrage minimal de 1.50 m / terrain fini.
- 3- Le sol est gonflant il y'a lieu de prendre les mesures suivantes en considération
 - Evite toutes infiltrations d'eau sous l'emprise des constructions.
 - Evite les plantations à proximité des constructions.
 - N'utiliser pas les terres marneuses pour le remblaiement.
 - Couler le gros béton sous les fondations dès l'ouverture des fouilles.
 - La canalisation doit être étanche et souple.
- 4- Les tassements calculés pour toutes les zones sont admissibles pour une contrainte de 2.00 bars.

Chapitre 4 : Etude topographiques

Introduction

L'objectif de l'étude topographique présentée dans ce chapitre est d'établir un modèle numérique de terrain concernant notre zone d'étude, ainsi que la création des tabulations (section transversale le long du profil du canal) nécessaire pour la modélisation du risque d'inondation via le logiciel Hec-Ras. La démarche suivie est résumée par les principales étapes suivantes :

- Acquisition des données topographiques de la zone d'étude, à partir d'Autocad avec le logiciel Covadis, sous le format (.txt)
- Création des tabulations (section transversales de l'oued) en important le fichier extrait vers le logiciel Civil 3D
- Création du MNT à partir du levé topographique, en utilisant le logiciel Global Mapper
- Exportation des fichiers tabulations (sections transversales de l'oued) et MNT vers le logiciel Hec-Ras

4.1. Acquisitions des données topographiques de la zone d'étude

Le levé topographique de la zone d'étude nous a été confié par AGC sous format Autocad (.dwg), (figure 4.1).

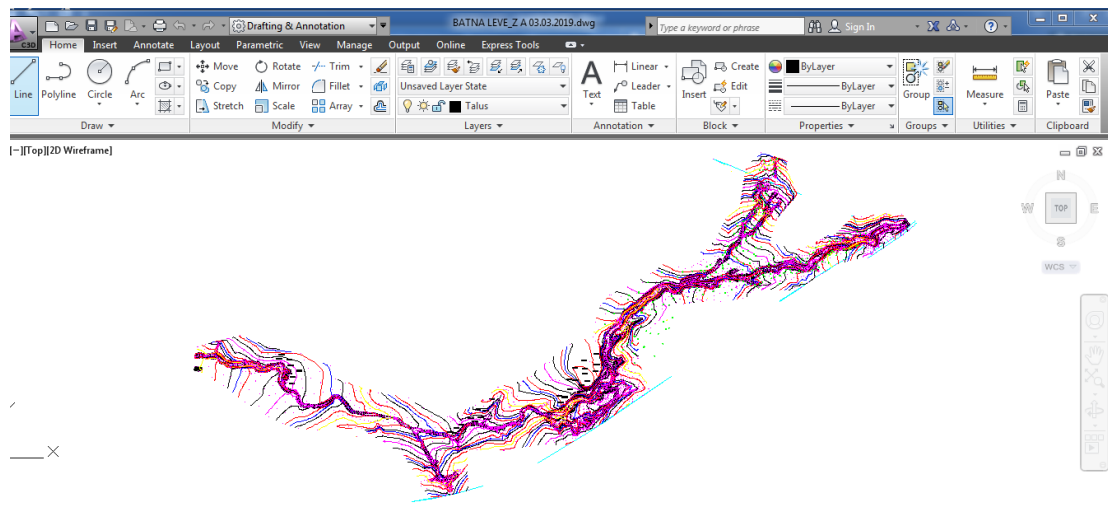


Figure 4.1: Fichier topographique (AGC).

Ces données topographiques sont extraites à partir d'un fichier Autocad par le logiciel Covadis en procédant par les étapes énumérés ci-dessous :

- Désactiver toutes les couches de dessins et laisser uniquement la couche des points topographique, comme l'illustre la figure 4.2.

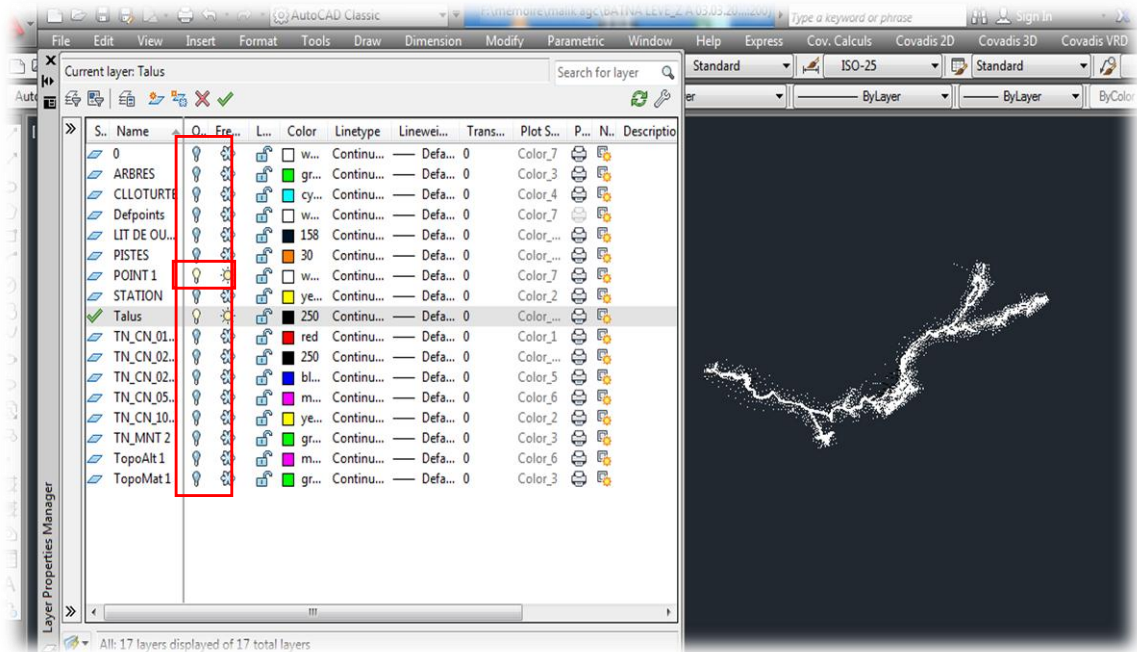


Figure 4.2: Couches des points topographiques.

- Extraire le fichier de points sous format texte (.txt), en utilisant le logiciels Covadis et suivant les étapes énumérés ci-dessous et illustrées par le figures 4.3. La procédure est ensuite validée (figure 4.4)
 - **Covadis 3D** ➡ **Calcul de MNT** ➡ **Export MNT points** ➡ **OK.**

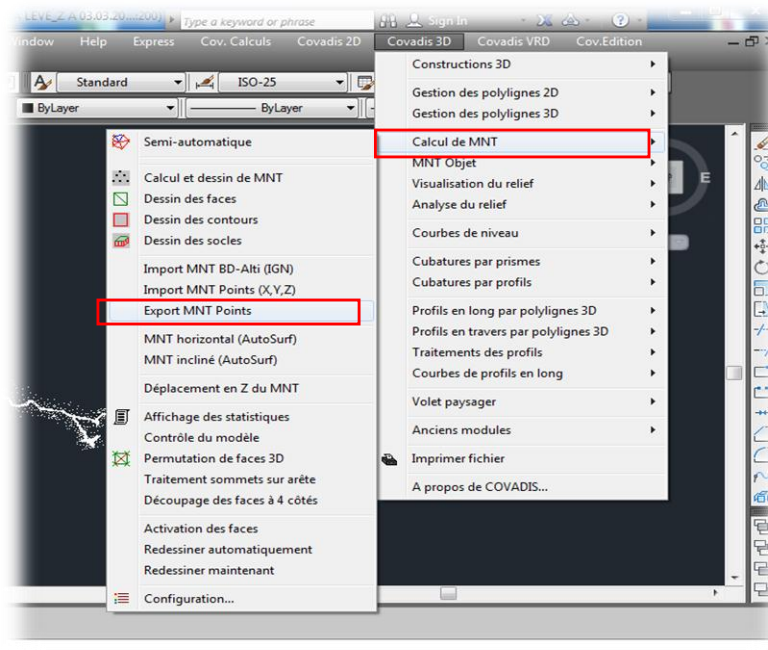


Figure 4.3: Extraire le fichier de points sous format texte (.txt).

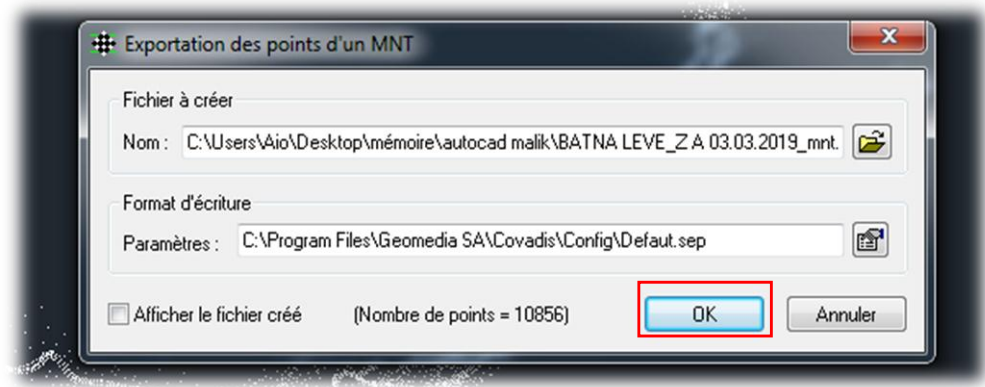


Figure 4.4 : Validation de la procédure d'extraction des points topographiques.

Un extrait du fichier de points topographiques sous format texte (.txt) est illustré par la figure 4.5.

Fichier	Edition	Format	Affichage	?
1	764275.8200	3919326.8470	909.3400	C
2	764276.9866	3919329.6810	903.7500	C
3	764277.0940	3919308.1010	909.7400	C
4	764277.4910	3919332.5110	903.5300	C
5	764277.7170	3919335.6040	908.8700	C
6	764282.8160	3919305.6380	909.8900	C
7	764283.3733	3919353.5904	910.4300	C
8	764283.5480	3919338.2770	909.2300	C
9	764284.4249	3919333.0938	904.0200	C
10	764285.0260	3919330.2845	904.2700	C
11	764286.1010	3919326.1530	909.4400	C
12	764286.1150	3919326.1370	909.4500	C
13	764287.0500	3919294.4270	909.8600	C
14	764290.0710	3919339.8800	909.5300	C
15	764290.2313	3919335.0241	904.3000	C
16	764290.5284	3919331.6979	904.5400	C
17	764291.6170	3919327.1847	909.7000	C
18	764291.8186	3919295.2041	909.8800	C
19	764293.6770	3919303.0730	910.1700	C
20	764296.1120	3919337.0920	909.7600	C
21	764296.7448	3919333.4893	904.9100	C
22	764297.4635	3919329.6599	905.1600	C
23	764297.5120	3919325.8020	910.0200	C
24	764299.4795	3919335.4206	909.7400	C
25	764299.7490	3919332.5517	905.2000	C
26	764300.1703	3919328.9138	905.3900	C
27	764301.1128	3919347.2497	910.5200	C
28	764301.9210	3919332.0436	905.4000	C
29	764302.0794	3919334.2493	909.7400	C
30	764302.2089	3919324.8179	910.1900	C
31	764302.2435	3919328.9138	905.5400	C
32	764302.6700	3919359.7240	911.4300	C
33	764303.2580	3919334.5500	909.7900	C
34	764304.2131	3919332.2289	905.5800	C
35	764304.8900	3919329.3607	905.7100	C
36	764306.5987	3919335.9603	910.0200	C
37	764306.8851	3919333.8293	905.7100	C
38	764307.0440	3919323.3330	910.3800	C
39	764307.8590	3919330.7978	905.8300	C
40	764309.3205	3919336.9541	910.2000	C
41	764309.5390	3919334.4250	905.8600	C
42	764310.8087	3919334.3815	905.9600	C
43	764310.8439	3919305.2568	910.6000	C
44	764311.1450	3919332.2650	905.9600	C
45	764311.2750	3919338.2520	910.3600	C
46	764312.2734	3919334.4696	906.0800	C
47	764312.3172	3919325.2387	910.4800	C
48	764314.2116	3919350.5543	911.3100	C
49	764315.7294	3919335.1409	906.3600	C
50	764315.7320	3919331.3567	906.3100	C
51	764316.1290	3919338.6760	910.3300	C

Figure 4.5 : Fichier de points topographiques.

4.2 Création des tabulations (section transversales de l'oued)

Les étapes de création des tabulations sont résumées comme suit :

- a- **Importation du fichier de points** : le fichier de point extrait sous format texte (.txt) est importé vers le logiciels Autocad-Civil 3d pour générer le semis de points ; conformément à la procédure décrite ci-dessous :
 - Ouvrir l'interface du logiciels Autocad-Civil 3D (figure 4.6).

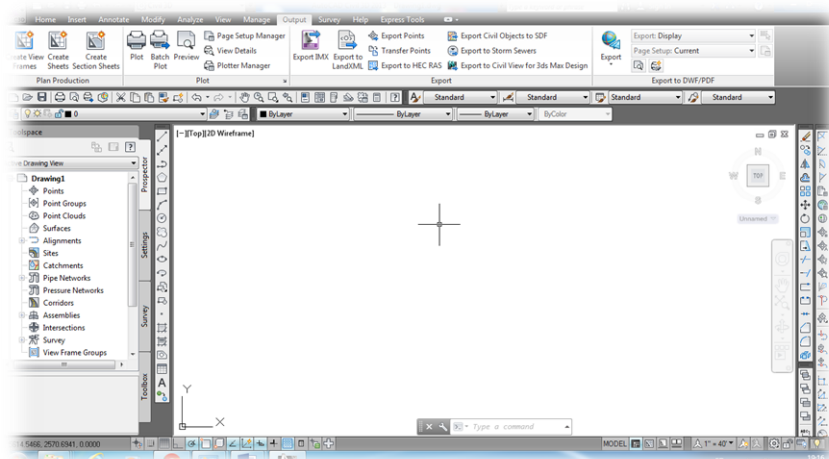


Figure 4.5 : L'interface du logiciel Autocad

- Cliquer sur la commande **points** puis sur la commande **create** afin de créer le semi de point (figure 4.7).

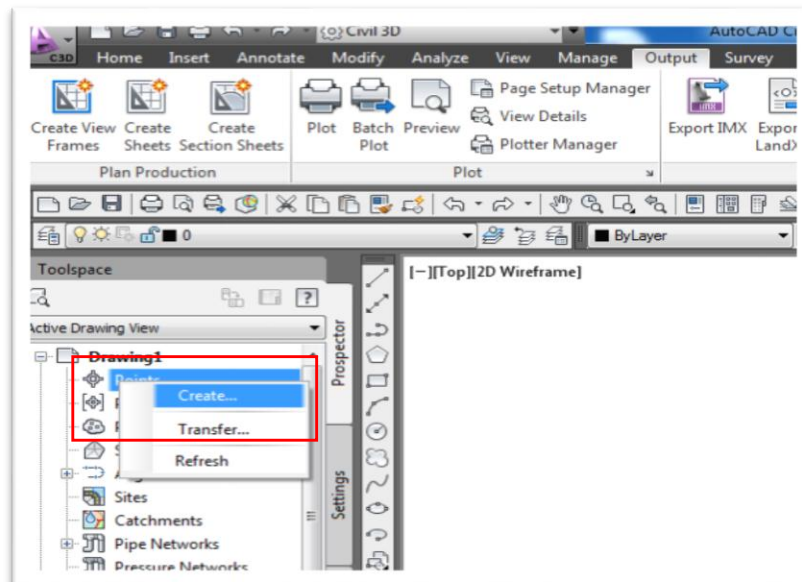


Figure 4.6 : Commande Create.

- Cliquer sur « **import points** » (figure 4.8).

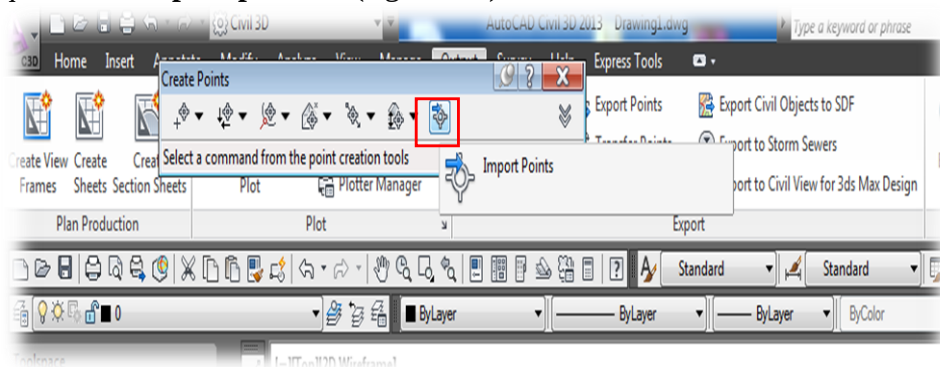


Figure 4.7 : Commande Import Points.

- Cliquer sur « **Add filles** » et sélectionner le fichier de points topographique (figure 4.9).

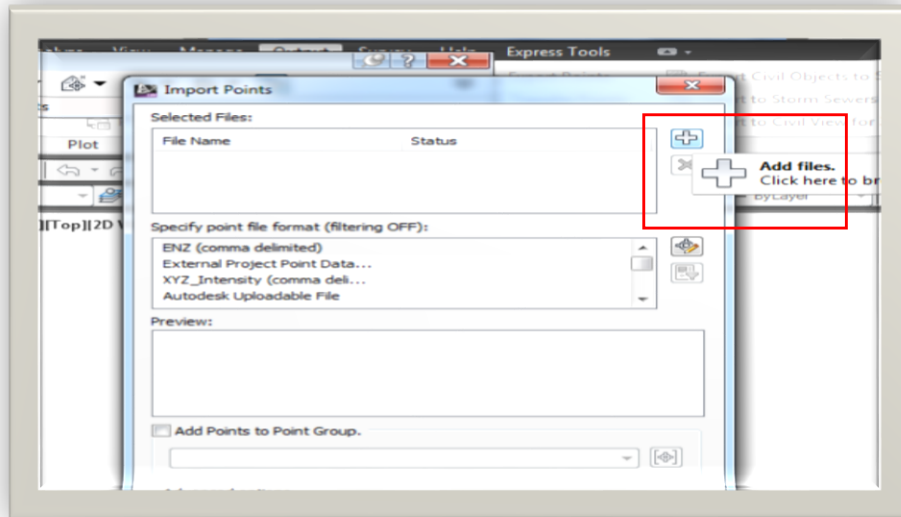


Figure 4.8 : Commande Add files.

- Sélectionner « **PENZD space delimited** » et valider (figure 4.10).

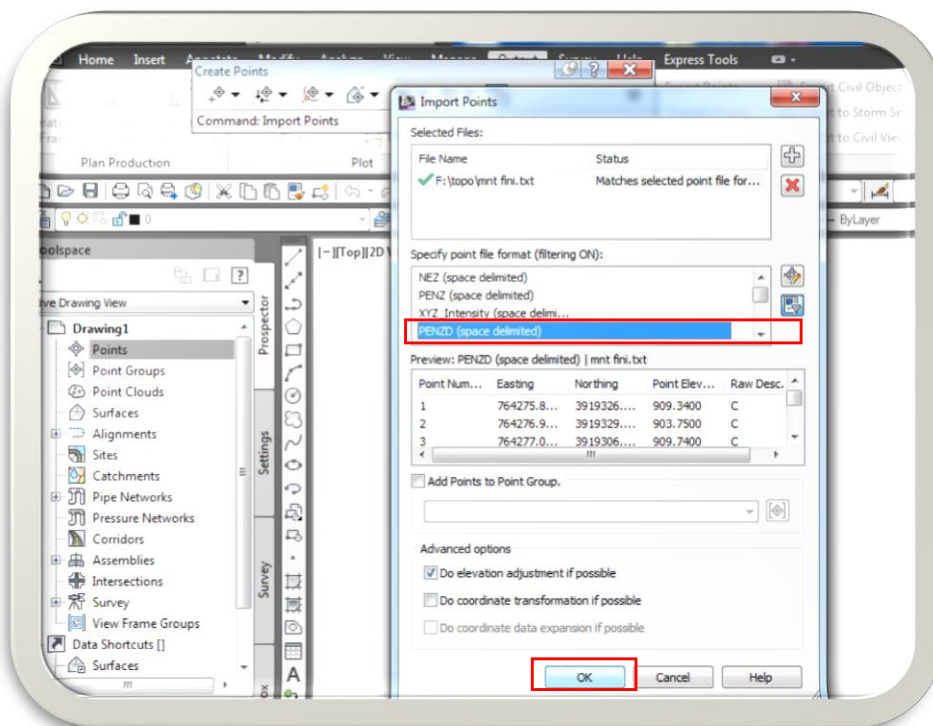


Figure 4.9 : Commande Import Points.

Le semi de point ainsi réalisé est illustré en figure 4.11.

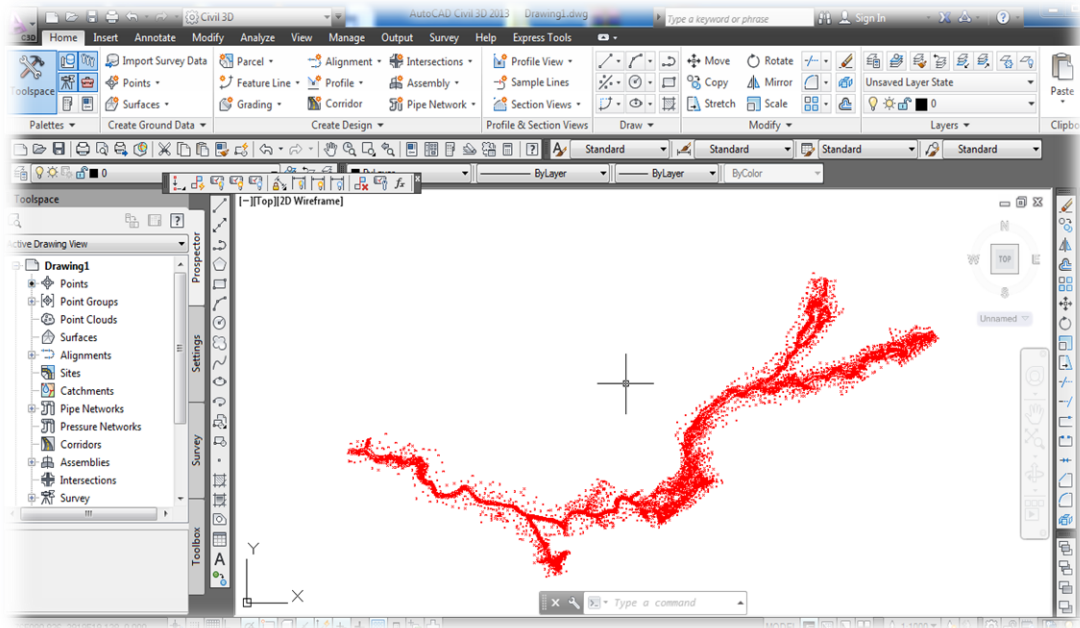


Figure 4.10 : Réalisation du semis de points.

b- Création de surface : cette étape est effectuée par la procédure qui suit :

- Cliquer sur la commande « **surface** », puis sur la commande « **definition** », ensuite sur « **point groupe** » et enfin sur la commande « **Add** » avec le bouton droit. (figure 4.12).

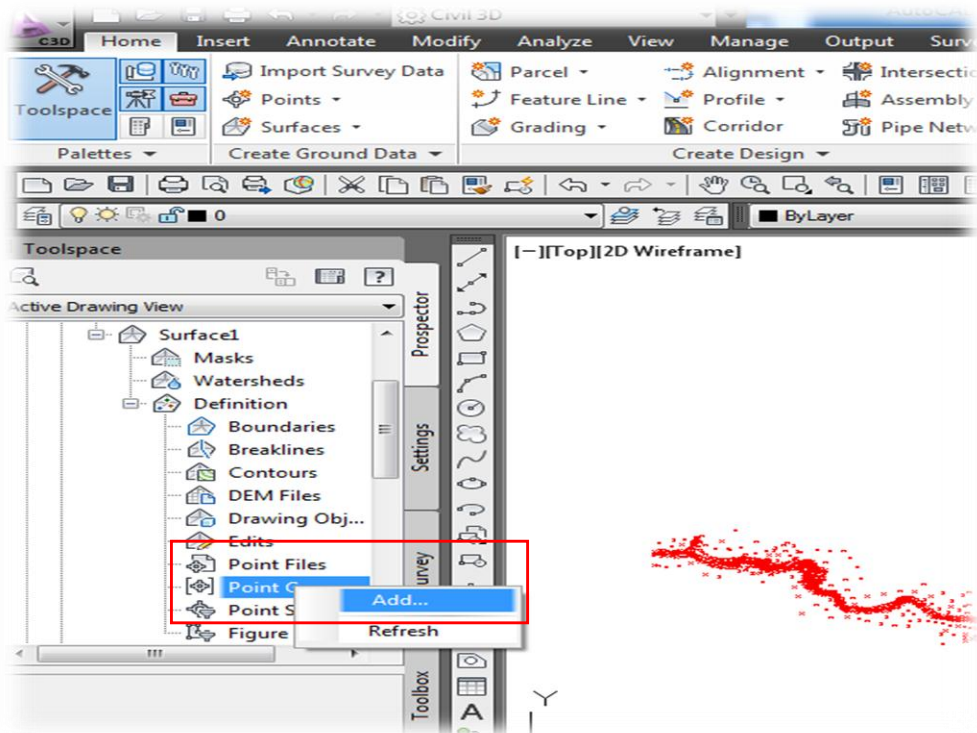


Figure 4.11 : Procédure de création des surfaces.

- Les commandes sont ensuite validées par « **Apply** » ensuite « **Ok** » (figure 4.13).

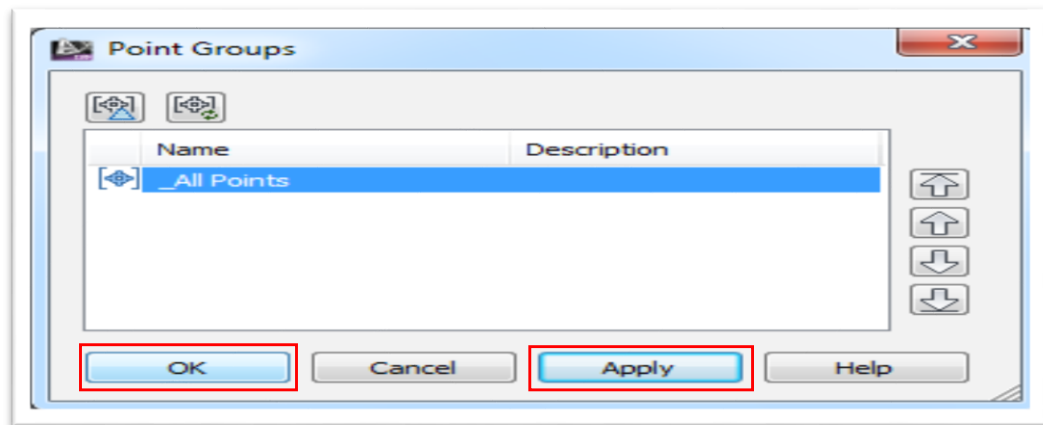


Figure 4.12 : Validation de la création des surfaces.

- Enfin, les surfaces créées sont illustrées par la figure 4.14.

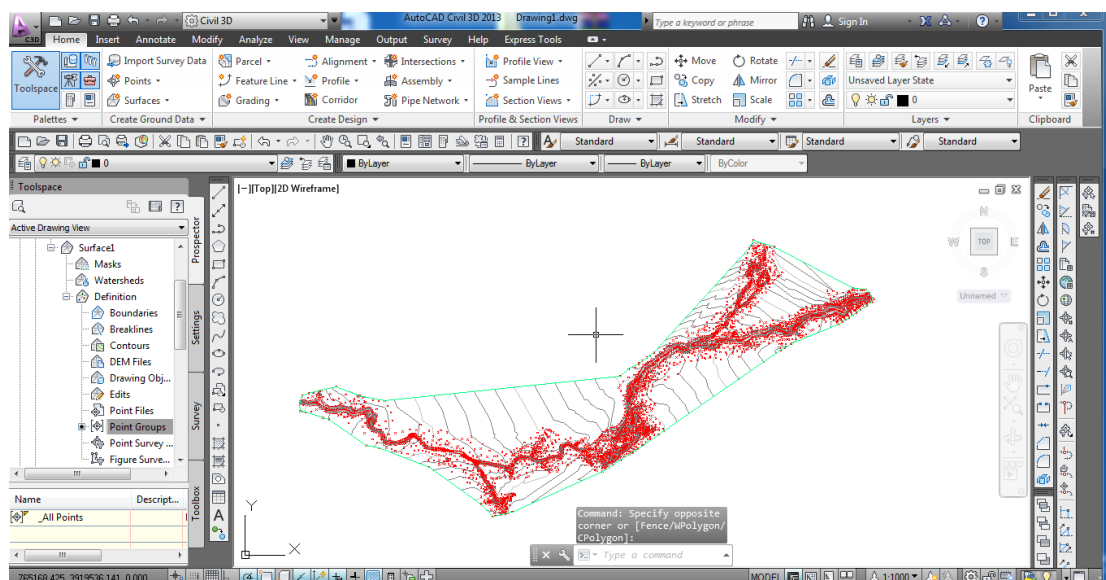


Figure 4.13 : Surfaces créées.

c- Création des différents axes (Lit d'Oued, Berge gauche et droite) : La création des axes des différents tronçons de l'oued définis se fait en sélectionnant la commande « **polyline** ». L'axe principale est au centre de l'oued en suivant son lit et les axes des berges gauche et droite suivent les rives (figure 4.15).

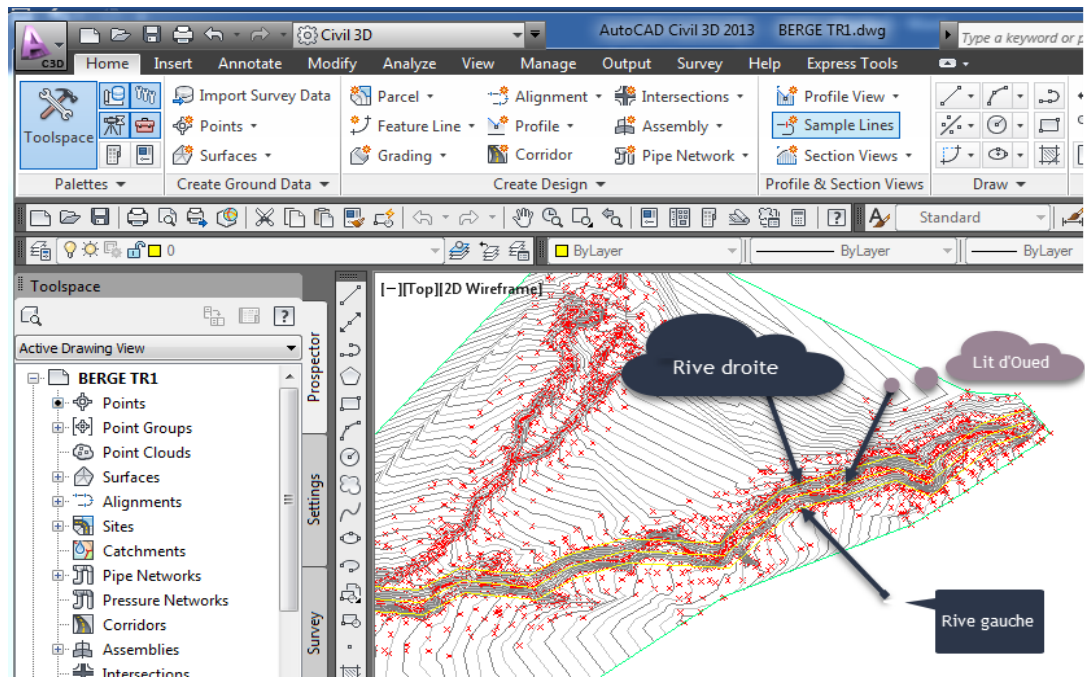


Figure 4.14 : Les axes de l'oued.

d-Création des tabulations : Les tabulations définissent les abscisses au niveau desquelles sont effectuées les « lignes de profil transversales » ainsi que la largeur de ces à droite et à gauche de l'axe. Un jeu de tabulations est stocké dans un groupe de tabulations pour l'axe. Chaque groupe de tabulations porte un nom unique. Chaque ligne contenue dans le groupe porte un nom unique également. La création de ces tabulations est réalisée conformément à la procédure qui suit :

- Premièrement, cliquant sur la commandes « **alignement** » puis sur « **create** », ensuite « **alignement from objects** » figure (4.16).

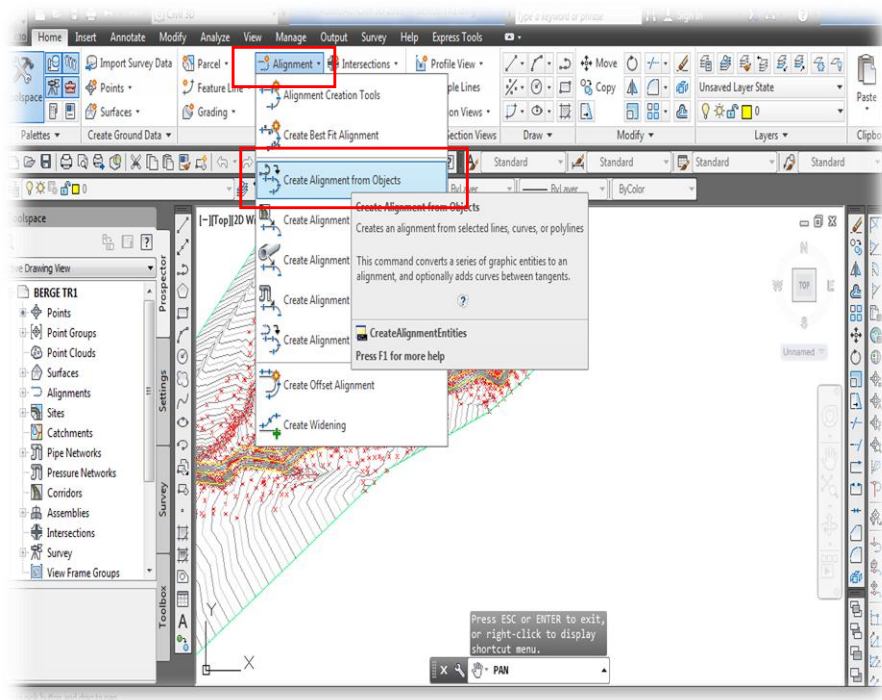


Figure 4.15 : Commande alignement

- Cliquez sur l'axe du lit d'oued puis sur entrer. Un tableau s'affiche pour valider la couche dessins et donner un nom au site (figure 4.17).

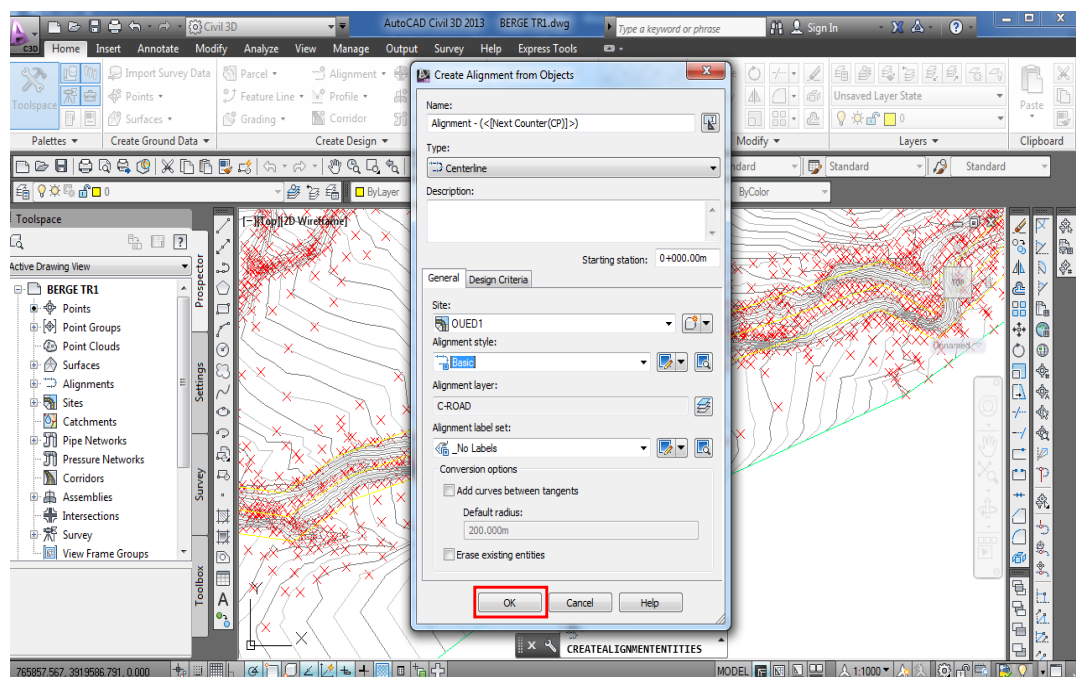


Figure 4.16 : Validation de la couche dessins.

- Choisir la commande « **Simple Lines** » (figure 4.18).

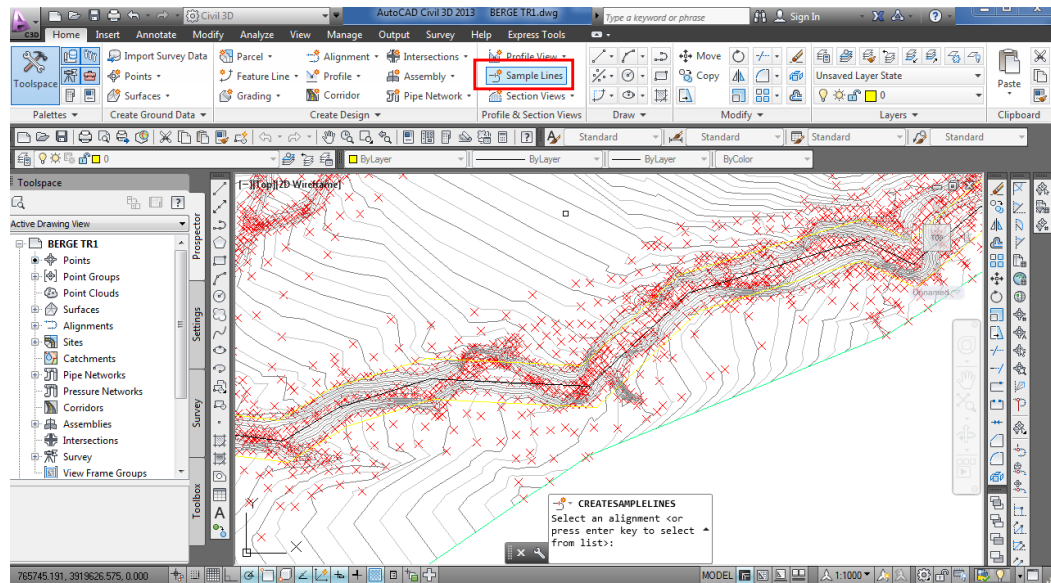


Figure 4.17 : Commande Simple Lines.

- Choisir l'axe du lit d'oued. Un tableau s'affiche pour enregistrer notre couche de dessin en cliquant sur Ok (figure 4.19).

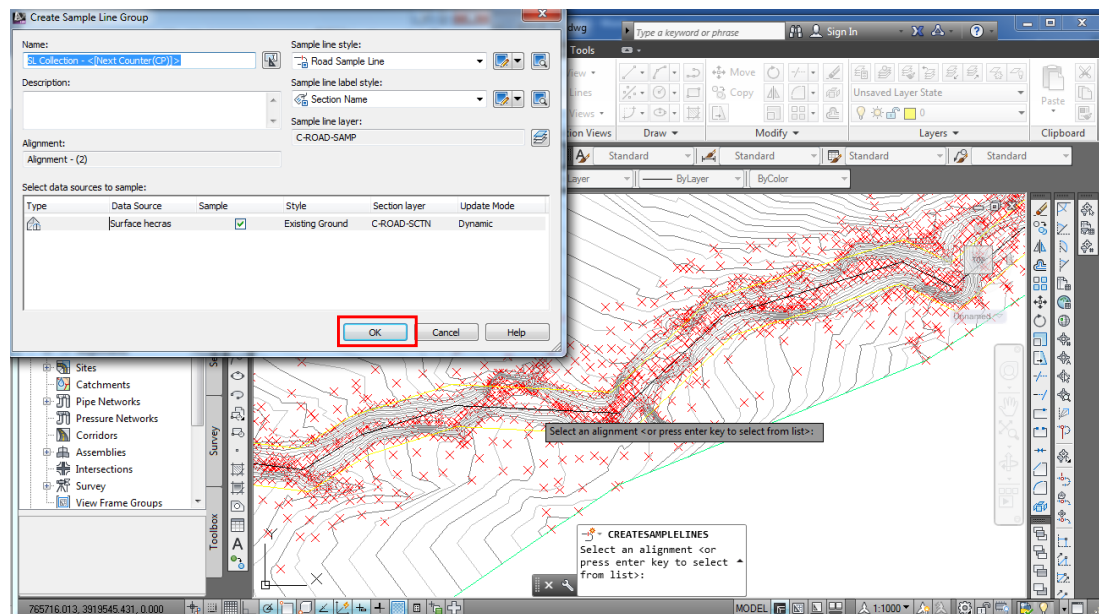


Figure 4.18 : Validation de la couche dessins.

- Une fois notre couche de dessin validée, nous aurons accès à la commande « **Simple Lines Tools** » (figure 4.20).

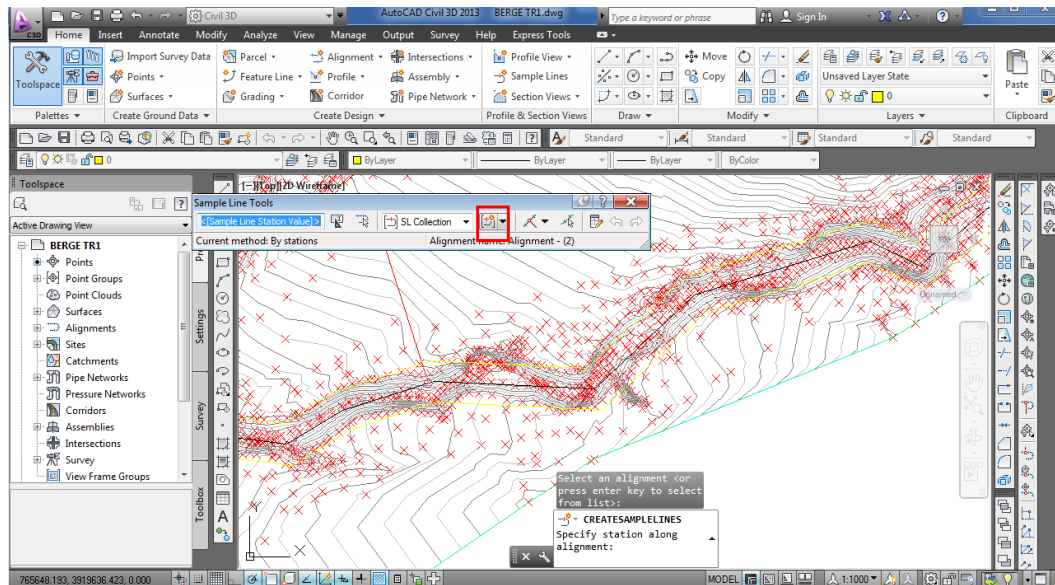


Figure 4.19: Commande Simple Lines Tools.

- Enfin, choisir la commande « By range of stations » (figure 4.21).

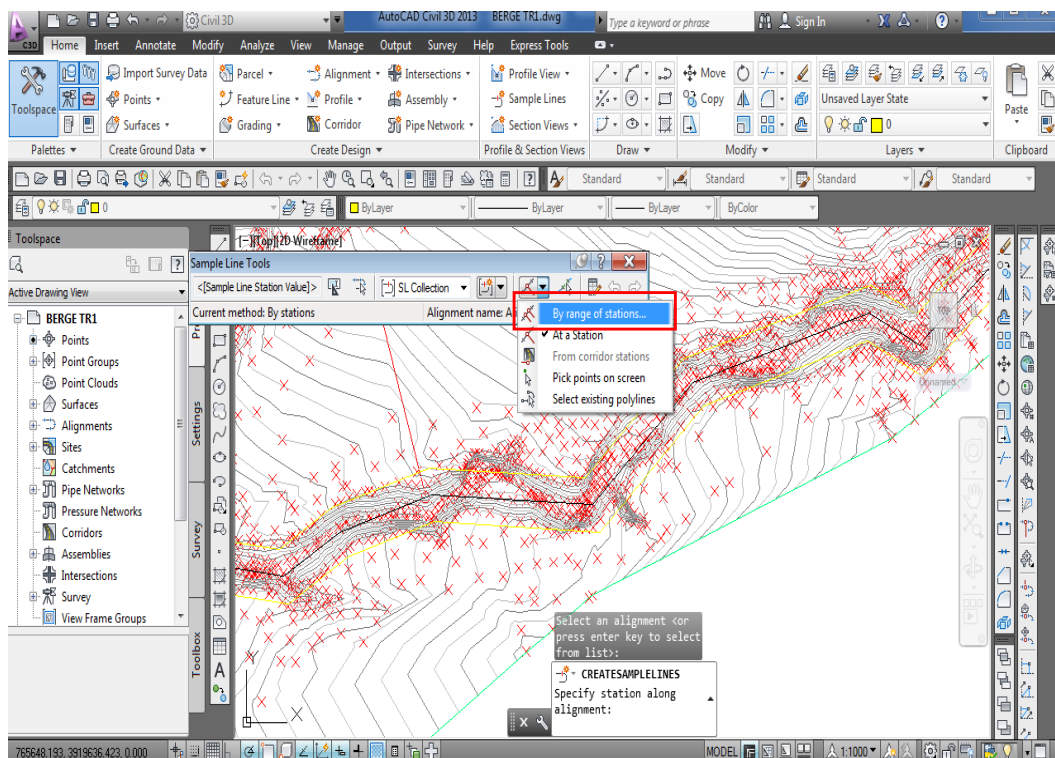


Figure 4.20 : Commande By range of stations.

- Un tableau s'affiche afin de choisir la distance des tabulations puis valider. Dans notre cas, une distance de 20 m est choisie pour inclure toutes les berges et aussi une distance de 20m pour séparer les section transversales (figure 4.22)

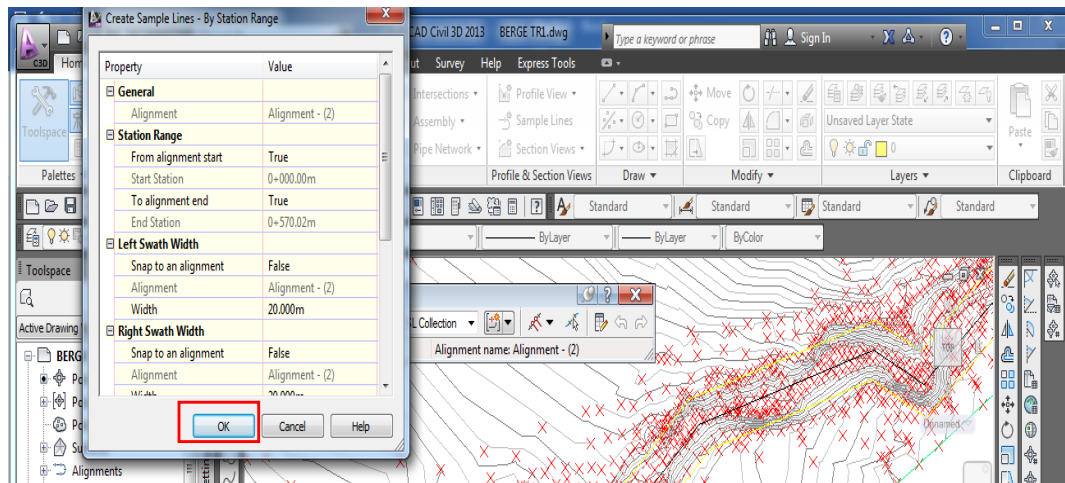


Figure 4.21: Validation de la Commande By range of stations.

- Au final, les tabulation créées sont illustrées sur la figure (4.23).

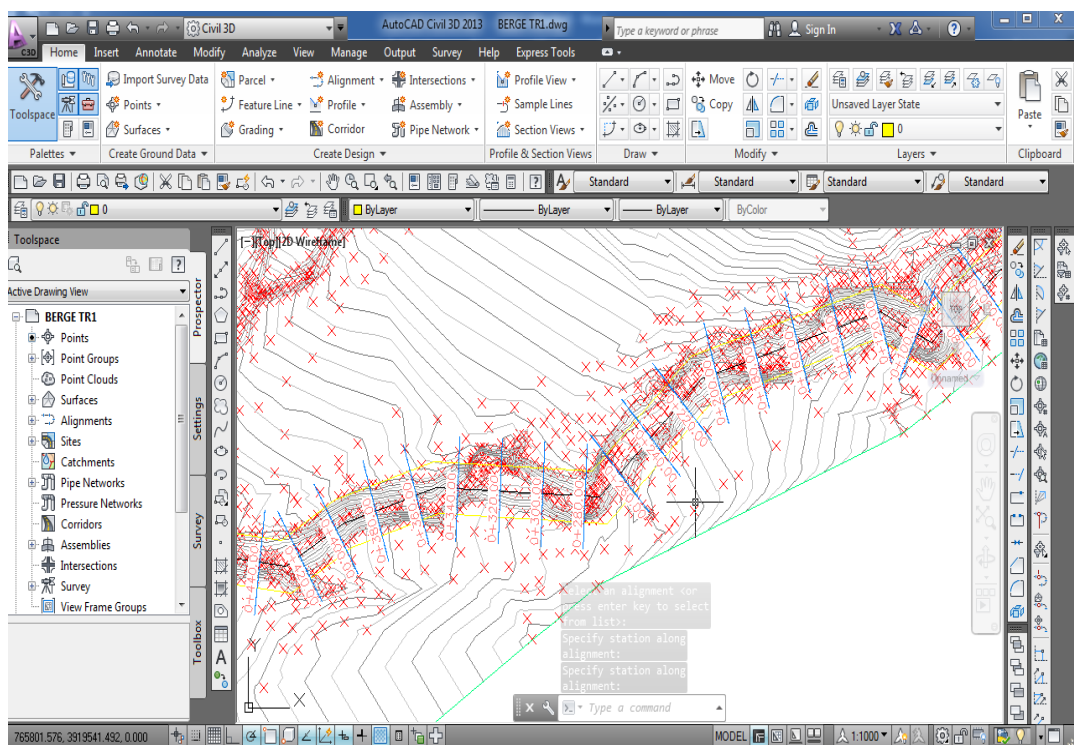


Figure 4.22 : Tabulation créées.

e- Exportation des tabulations vers le logiciel Hec-Ras

L'exportation des tabulations vers le logiciel Hec-Ras se fait par l'onglet « **Output** » puis la commande « **export to Hec-Ras** » (figure 4.24).

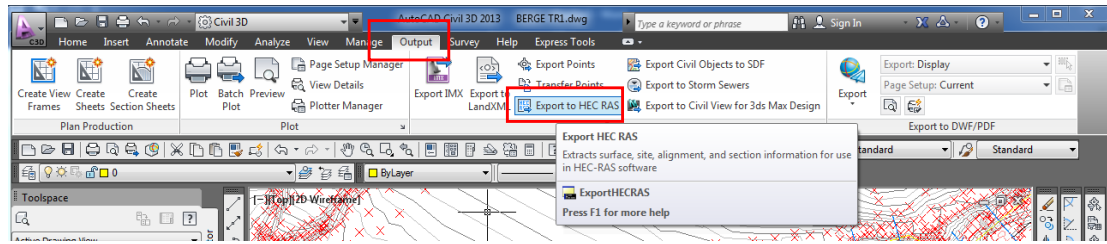


Figure 4.23 : Commande Export to HEC RAS.

Dans la commande « **export to Hec-Ras** » sélectionner les berges droite et gauche et valider afin d'enregistrer le fichier sous format (.geo) (figure 4.25).

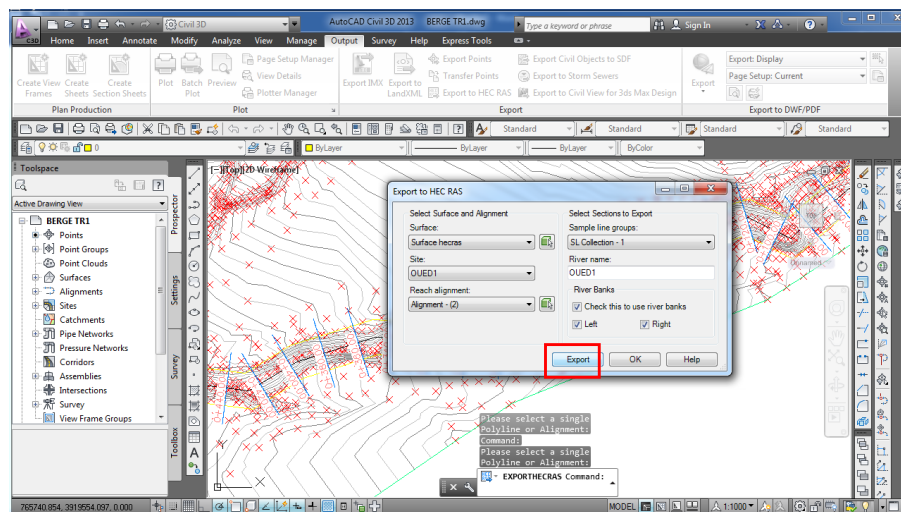


Figure 4.24 : Validation de la commande Export to HEC RAS.

4.3. Création du MNT

Pour la réalisation du MNT, nous utilisons le logiciel Global. Ce logiciel est capable d'afficher, convertir et analyser pratiquement tous les types de données géo spatiales 2D ou 3D, en réseau ou en local, raster ou vecteur, fichier texte ou base de données spatiales. Le logiciel convertit, édite, publie, imprime, gère les GPS, crée des mosaïques, des tuiles et permet aux utilisateurs d'effectuer une analyse spatiale poussée, y compris les indices de végétation, l'analyse de bassins versants, le calcul de volume et plus encore. Les étapes de la création du MNT sont données ci-dessous

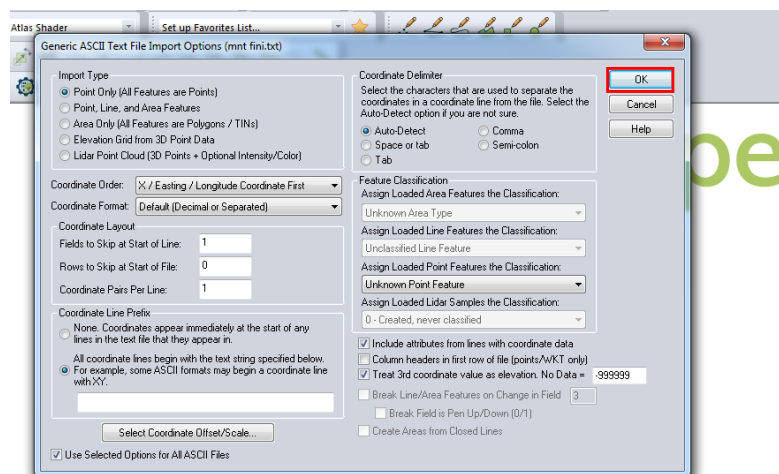
a- Importation du fichier « points topographique » sur Global Mapper :

- Ouvrir l'interface du logiciel global mapper version 2018 et cliquer sur « Open Data Files » puis sélectionner le fichier de points (.txt) extrait avec Covadis version 2013 figure (4.26).



Figure 4.25 : L'interface du logiciels Global Mapper.

- Une fois le fichier est sélectionné, choisir le type d'importation, la mise en page des coordonnées (en mettant 1 sur le Fields to Skip at Start of Line et 1 sur Coordinate Pairs Per Line) puis valider (figure 4.27).



Load Default Data

Figure 4.26 : Importation de la mise en page des coordonnées

- Choisir la projection dans notre cas UTM zone 31 N (figure 4.28).

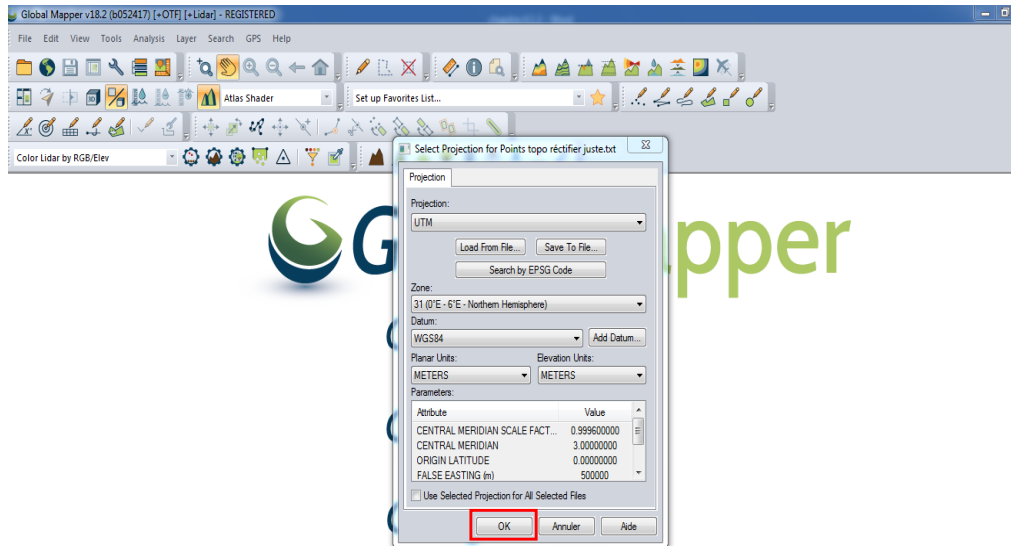


Figure 4.27: Projections.

- Le fichier de point topographique s'affiche sur l'interface du logiciel comme l'illustre la figure (4.29).

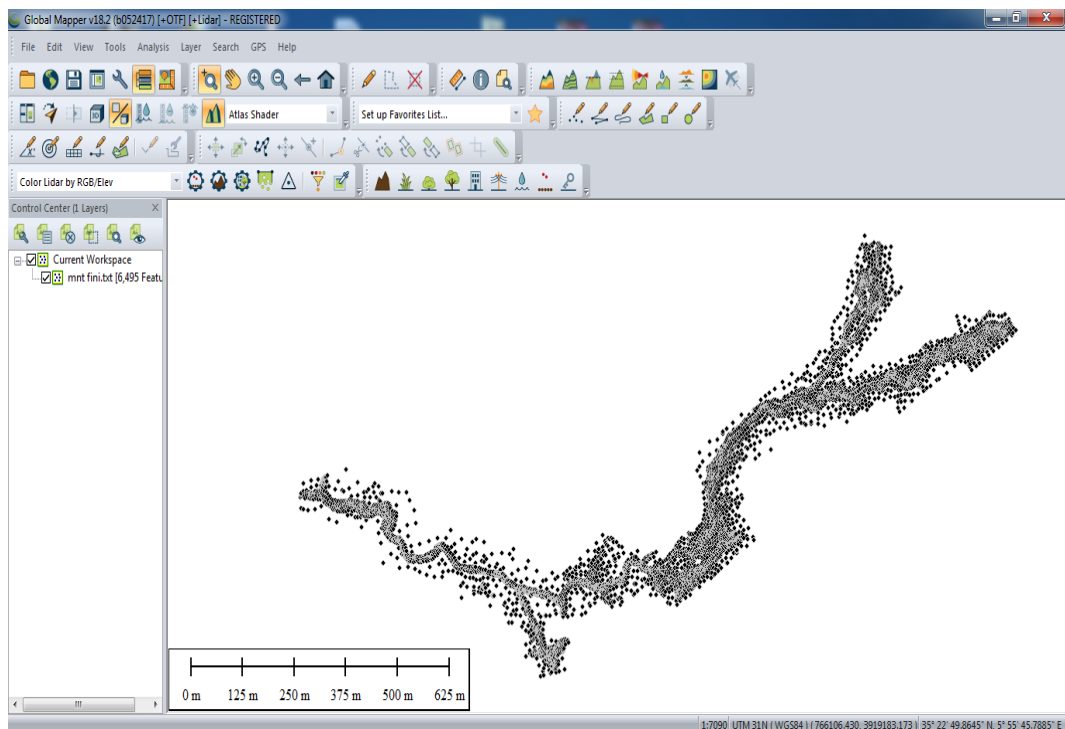


Figure 4.28 : Point topographique

- b- Génération d'un Modèle Numérique de Terrain MNT :** la génération du modèle numérique de terrain est effectuée comme suit :
- Sur la barre d'outils cliquer sur la commande « **Analysis** » puis sélectionner la commande « **create Elevation grid from 3D** » (figure 4.30).

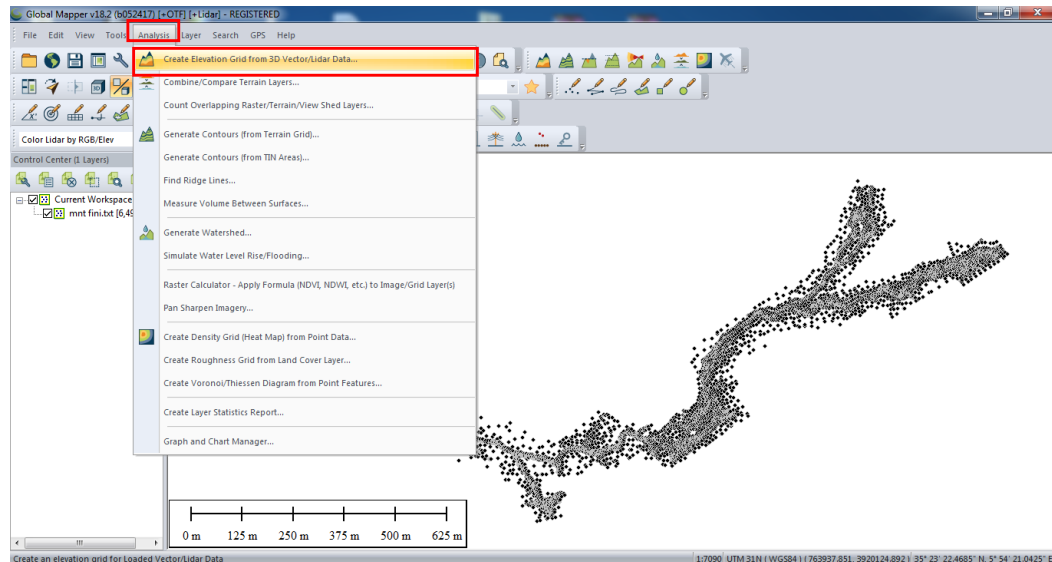


Figure 4.29 : Création du MNT.

- Sélectionner les commandes « **Taper 3D Area Features using curve value** » et « **ignore Zero Elevations** » affichées sur la figure (4.31) puis valider.

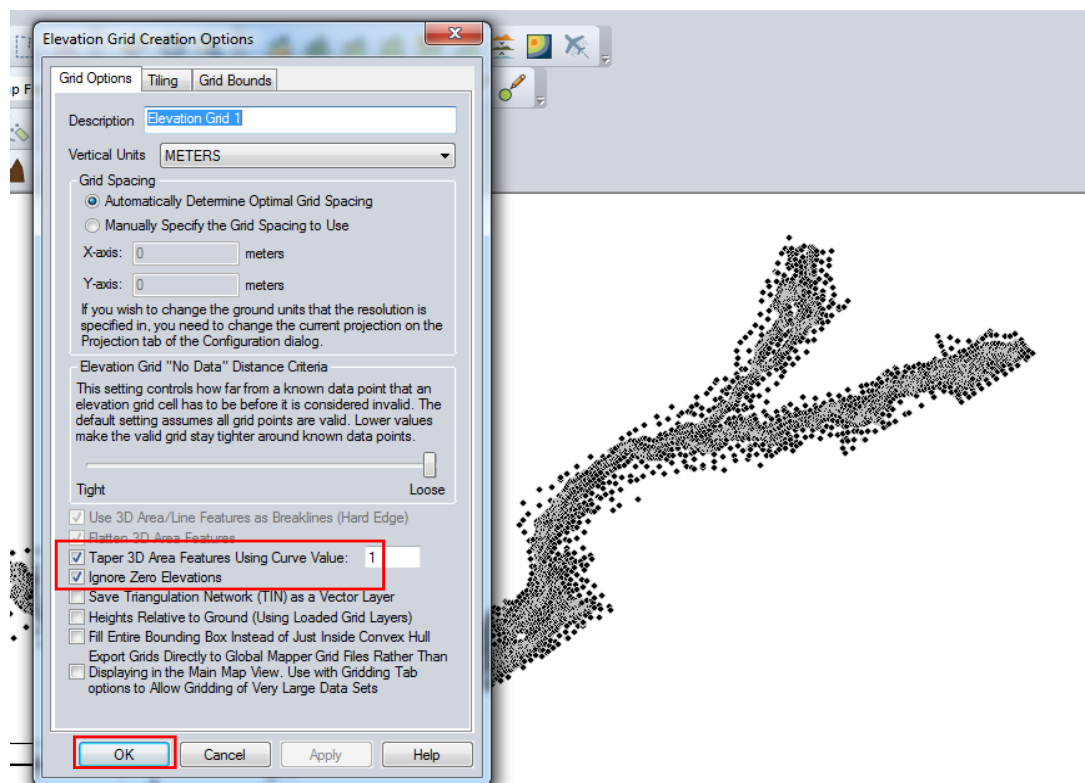


Figure 4.30 : Commande Elevation Grid Création Options.

- Ainsi s'affiche le modèle numérique de notre terrain, comme l'illustre la figure (4.32).

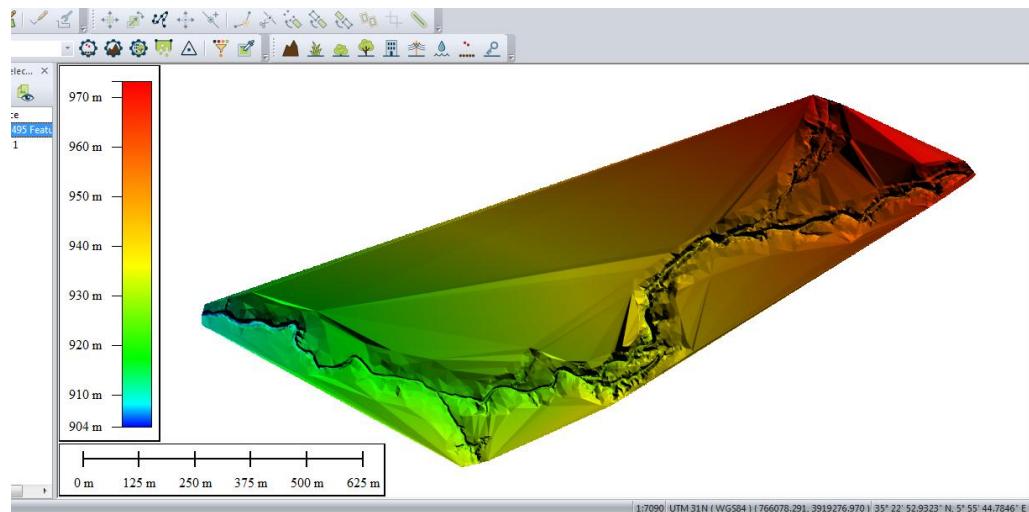


Figure 4.31 : Modèle numérique de notre terrain.

c- Exportation du MNT

Le MNT réalisé est exporté vers le logiciel Hec-Ras dans le but de simuler l'écoulement dans le canal. La procédure d'exportation est présentée comme suit :

- Sélectionner la commande « **export** » puis « **export elevation grid forlat** », illustrées par la figure 4.33.

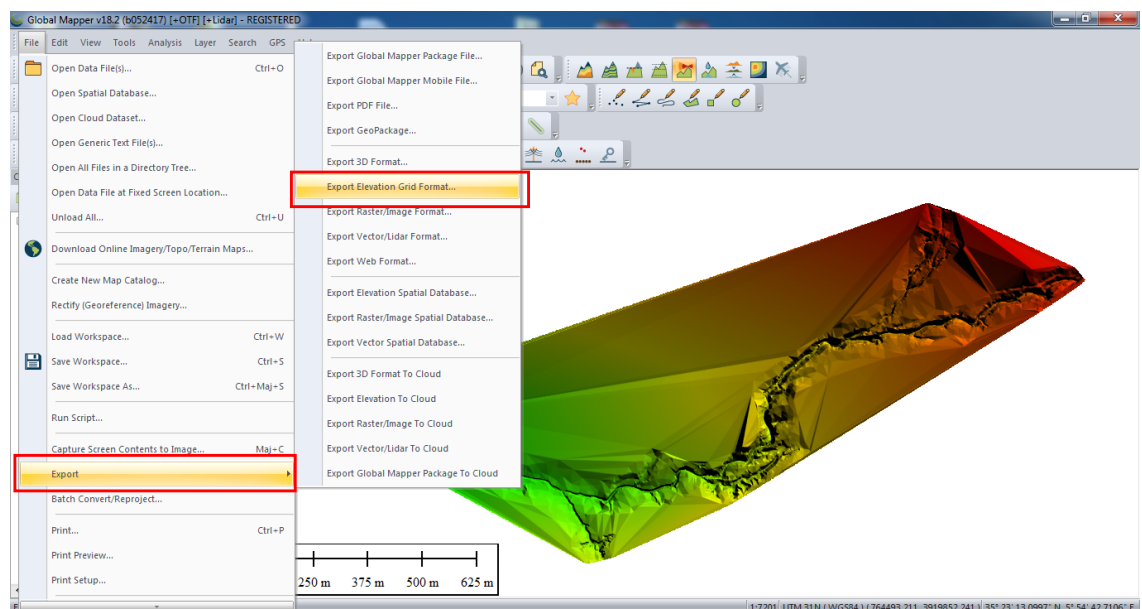


Figure 4.32: Commande d'exportation du MNT.

- Choisir le format « **Geotiff** » (figure 4.34) puis valider.

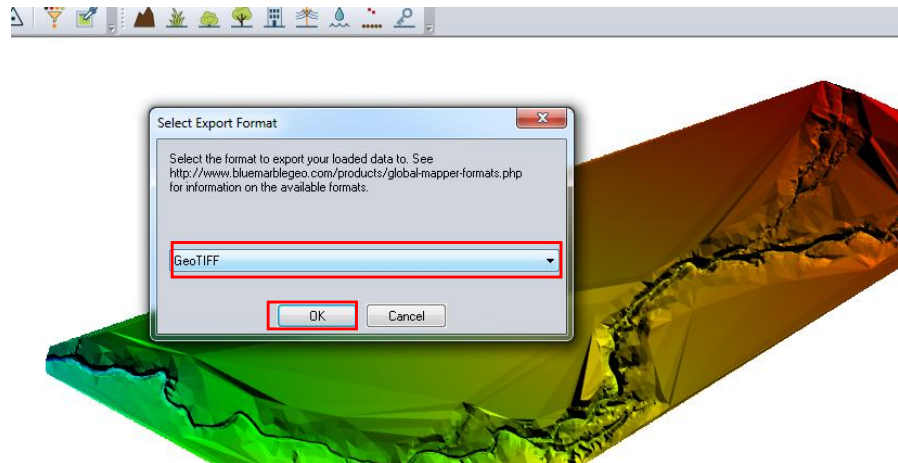


Figure 4.33 : Format à exporter

- Enfin, sélectionner les 5 commandes « **Interpolate to Fill Small Gaps in Data** », « **Generate TFW (World) File** », « **Generate PRJ File** », « **Generate OziExplorer .map File** » et « **ADVANCED : Don't Write GeoTIFF Header** » afin d'avoir tous les fichiers essentiels à l'exportation de notre MNT vers Hec-Ras.

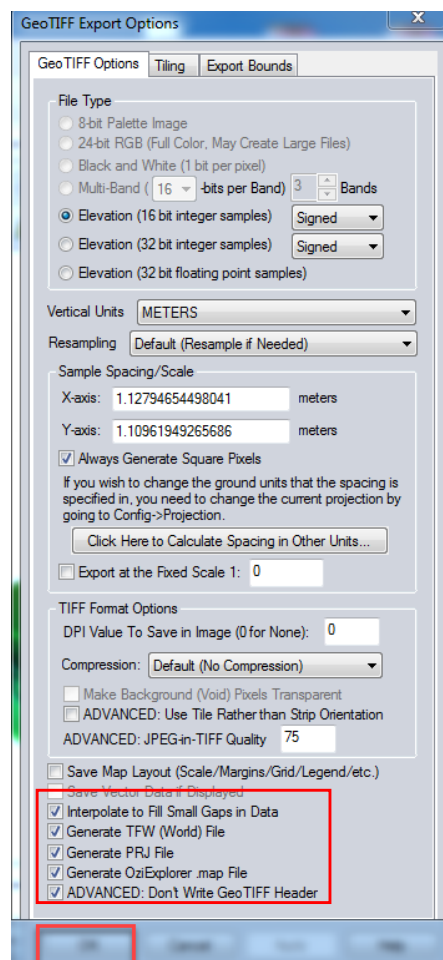


Figure 4.34 : Commande exportation en format GeoTIFF.

Conclusion

La création des tabulations avec le logiciel Autocad-Civil 3D est une étape nécessaire pour la modélisation de l'écoulement dans les différents tronçons de l'oued, faisant l'objet de notre étude. Ces tabulations permettent de générer les sections transversales nécessaires pour la simulation de l'inondation ainsi que pour sa visualisation une fois exporté vers le logiciel Hec-Ras.

Par ailleurs, la réalisation du MNT de notre zone d'étude a été réalisée avec succès, en utilisant le logiciel Global Mapper. Ce MNT sera exporté vers le logiciel Hec-Ras pour la visualisation de l'étendue de l'inondation en trois dimensions.

***Chapitre 05 : Modélisation
et simulation des inondations sous
le logiciel HEC-RAS***

Introduction

Le chapitre cinq est consacré à la modélisation de l'inondation de la zone d'étude, moyennant le logiciel de simulation des écoulements à surface libre « HEC-RAS-version 5.0.7 ». La base de données nécessaires à la modélisation, à savoir le MNT de la zone d'étude et les tabulations « sections transversales de l'oued » sont importées à partir des logiciels Global Mapper et Autocad Civil 3D respectivement. A cet effet, différentes périodes de retour de la crue seront considérées pour maîtriser l'étendue de l'inondation.

5.1. Présentation du logiciel Hec –Ras [7]

Hec -Ras « Hydrologic Engineering Center – River Analysis System » est un logiciel qui a été développé par l'US Army Corps of Engineers en 1995, pour la modélisation et la simulation des écoulements dans les cours d'eau et les canaux, en régimes permanent et transitoire. Ce logiciel offre la possibilité de réaliser des modélisations mono et bidimensionnelles des rivières, des plaines d'inondation, de l'évolution de la qualité de l'eau, du transport sédimentaire et encore les ruptures de digues. Il permet aux ingénieurs hydrauliciens d'analyser les débits et la ligne d'eau sous divers régimes d'écoulement (subcritique, supercritique et de transition), en prenant en compte les effets de ponts et de seuils. Ce logiciel intègre de nombreux moyens de saisie de données, de composants d'analyse hydraulique, de stockage de données, d'édition de rapport sous forme de tableau et graphiques (profils en travers, section transversale.....etc.).

5.2. Théorie de base de calcul du logiciel HEC-RAS [7], [10]

La procédure de base de calcul du logiciel HEC-RAS pour les écoulements permanents est basée sur la solution de l'équation de conservation de l'énergie à une dimension. Les pertes d'énergie sont évaluées par les frottements et les effets de contraction / expansion.

L'équation de quantité de mouvement est également utilisée dans les situations d'écoulement rapidement varié, par exemple au niveau de ressauts hydrauliques, de ponts et de confluences. Pour les écoulements non permanents, le logiciel résout l'ensemble dynamique des équations de Saint-Venant par la méthode des différences finies..

5.2.1. Équations de base [7], [8]

Les profils de la surface ou la ligne d'eau (figure 5.1) est calculée entre deux sections (1) et (2) en résolvant l'équation d'énergie (5.1) par une méthode itérative :

$$H_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = H_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} + \Delta H \quad (5.1)$$

Avec :

- H_1, H_2 : profondeur de l'eau au niveau des sections
- Z_1, Z_2 : côte du canal principal
- V_1, V_2 : vitesses moyennes (débit total / surface totale d'écoulement)
- α_1, α_2 : coefficients de pondération de vitesse
- g : accélération de la gravité
- ΔH : perte d'énergie principale (perte de charge).

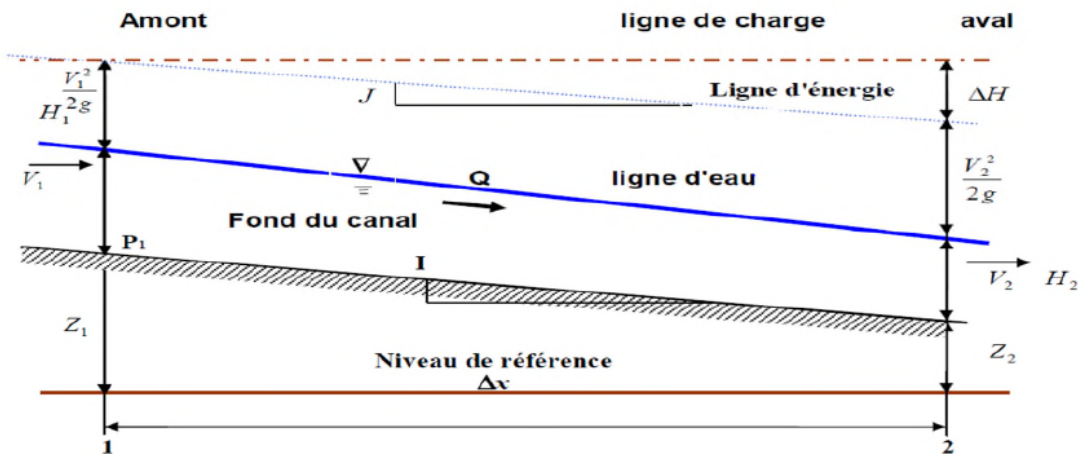


Figure 5.1 : Conservation de la charge entre deux sections

La perte totale d'énergie (ΔH) entre deux sections (1) et (2) est composée des pertes par frottement et des pertes de contraction ou d'expansion. L'équation pour la perte totale d'énergie est comme suit :

$$\Delta H = LI + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (5.2)$$

Avec :

- L : la distance entre deux sections (1) et (2)
- I : la pente représentative de frottements (ligne d'énergie)
- C : coefficient de perte d'expansion ou de contraction

5.2.2. Subdivision d'une section en travers pour le calcul du débit

La détermination du transport total et du coefficient de vitesse pour une section de calcul exige que l'écoulement soit subdivisé en unités pour lesquelles la vitesse est uniformément distribuée. L'approche utilisée dans HEC-RAS est de subdiviser l'écoulement dans les surfaces des rives en utilisant les points d'arrêt des valeurs de la rugosité n comme base de la subdivision (endroits où est observé le changement des valeurs du coefficient de rugosité n) comme le montre la figure 4.2. Le flux est calculé dans chaque subdivision sous la forme suivante en fonction de n (Equation de Manning) :

$$Q = KI^{1/2}$$

Ou :

$$K = \frac{1}{n} SR_h^{2/3}$$

Avec :

- K : flux pour la subdivision
- n : coefficient de rugosité de Manning pour une subdivision
- S : surface d'écoulement pour une subdivision
- R_H : rayon hydraulique pour une subdivision (surface/périmètre mouillé)

Le programme cumule tous les débits dans les rives pour obtenir un flux pour la rive gauche et la rive droite. Le débit total d'une section de calcul est obtenu en additionnant les trois débits des trois subdivisions (gauche, canal, droite). Le découpage se fait comme sur la figure 5.2

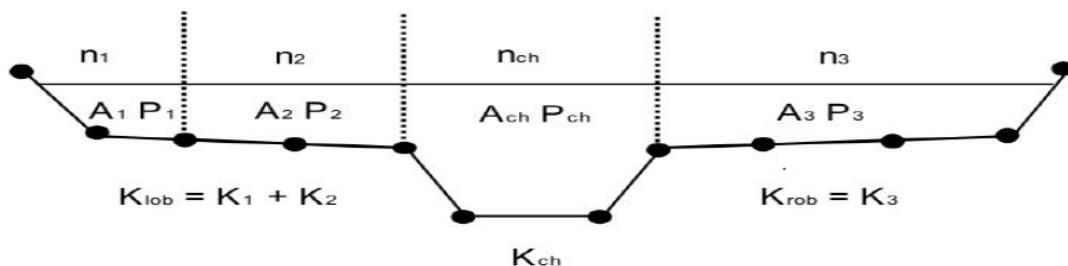


Figure 5.2 : Méthode de subdivision du débit par le modèle HEC-RAS [8].

5.3. Données nécessaires à l'application du modèle HEC-RAS [7]

L'application du modèle HEC RAS nécessite une banque de données bien précise de tous les tronçons du cours d'eau étudié, soient :

- Les données géométriques relatives de chaque section ;
- Le profil en travers définie par une série de couples distance-altitude
- Le coefficient de rugosité du lit majeur et mineur ;
- Les trois distances principales à la section suivante : rive gauche, droite et axe du lit mineur

- Les données hydrométriques à savoir, le débit et les conditions aux limites.

5.6. Application du modèle HEC-RAS au cas d'étude

L'application du modèle HEC-RAS a été faite sur un tronçon de l'oued faisant l'objet de notre étude et illustré par la figure 5.3 (chapitre 1et 2). Celui-ci est décrit par un levé topographique sur une longueur d'environ 2.68 km (figure 5.5).



Figure 5.3 : Cours d'eau à l'aval.

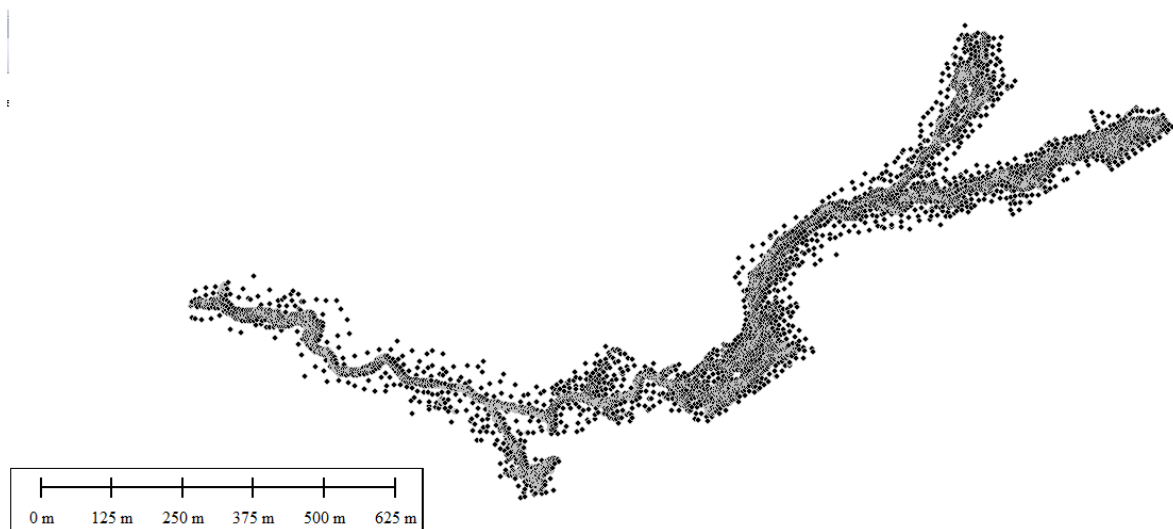


Figure 5.4 : Plan topographique d'oued AIN TOUTA

5.6.1. Procédure de modélisation

a- importation du fichier de données

Le fichier de donnée, représentant la géométrie de l'oued, est extrait du logiciel Autocad-Civil 3D. Celui-ci est introduit dans le logiciel HEC-RAS par tronçon, en utilisant la commande « importe géométrie data (figure 5.5). La figure 5.6 illustre la géométrie importée sur Hec-Ras.

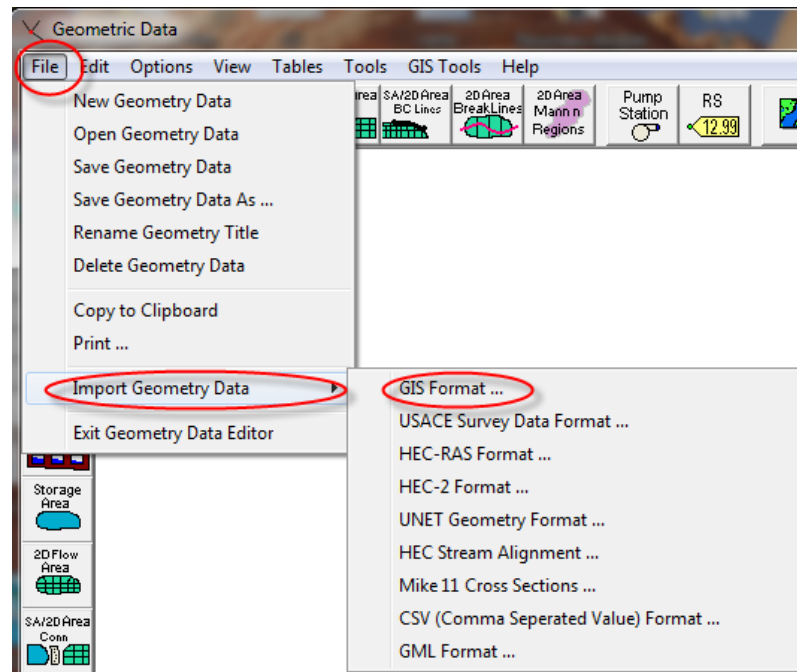


Figure 5

Figure 5.6 : Commande Import Geometry Data

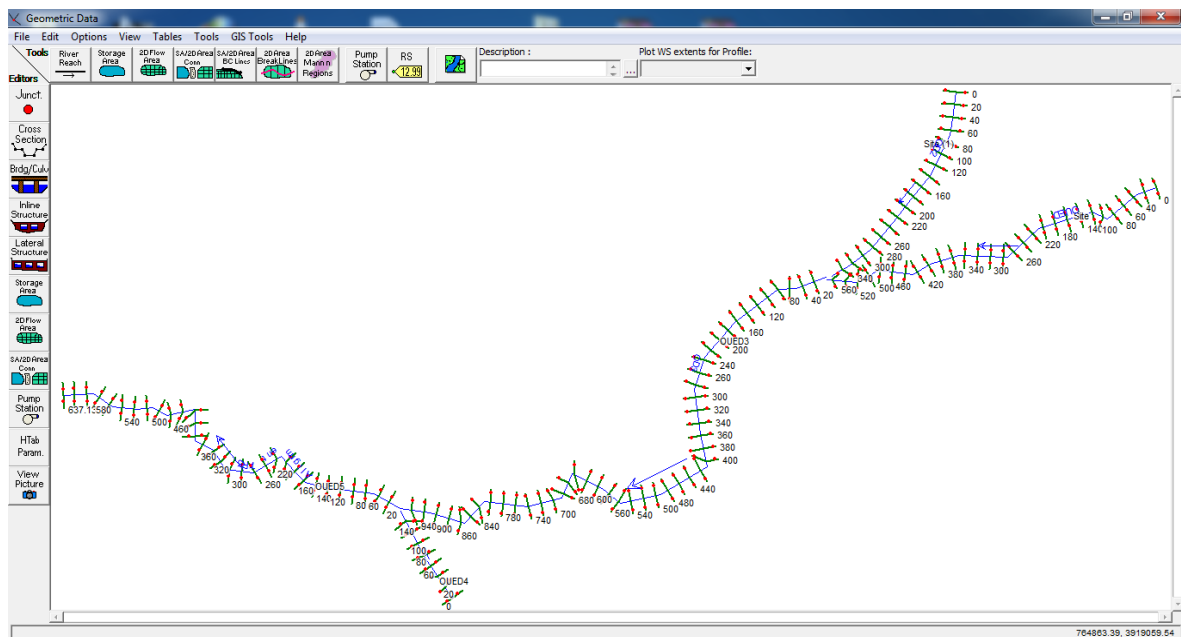


Figure 5.7 : Géométrie du cours d'eau

Notons que cinq tronçon sont définis dans le long du cours d'eau, comme l'illustre la figure 5.6. Soient :

- Premier tronçon : $L = 570.00\text{m}$
- Deuxième tronçon : $L = 360.65\text{m}$
- Troisième tronçon : $L = 957.39\text{ m}$
- Quatrième tronçon : $L = 157.20\text{m}$
- Cinquième tronçon : $L = 637.76\text{m}$

b- Jonction des tronçons

La jonction des tronçons est effectuée via la commande « jonc » (figure 5.7).

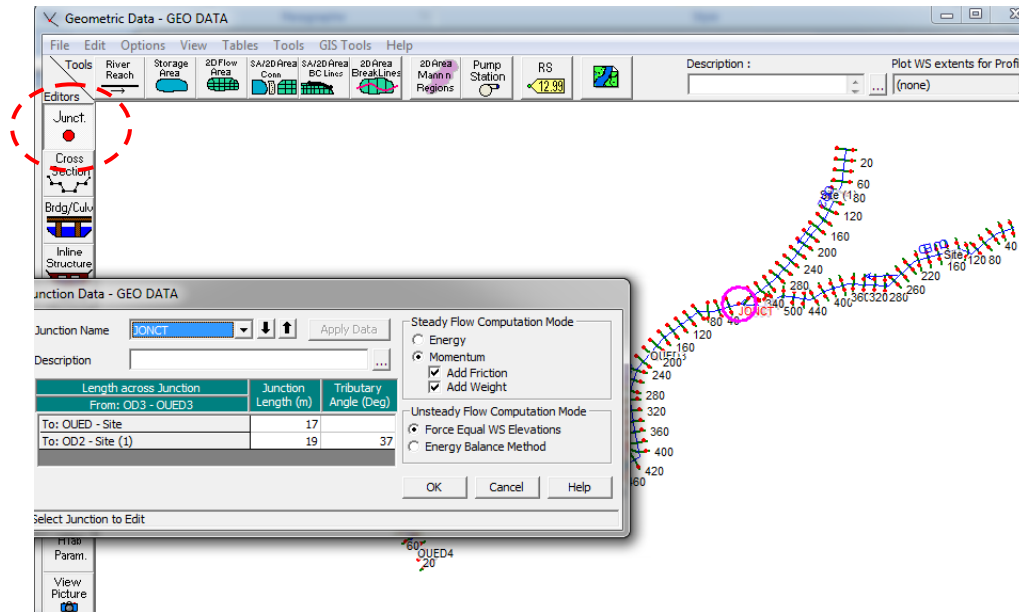


Figure 5.8: Jonction des tronçons

La figure 5.8 montre la géométrie après jonction des tronçons

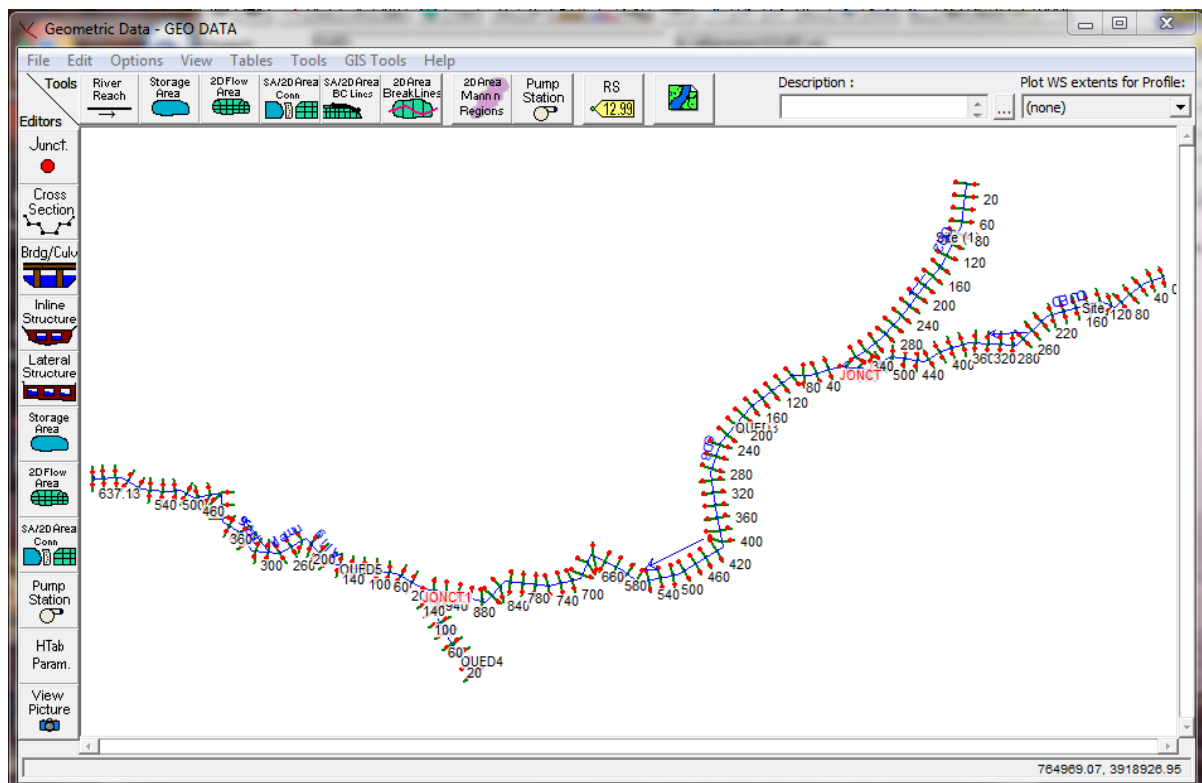


Figure 5.9 : géométrie après jonction des tronçons

c-Introduction des débits

Le débit est introduit à l'entrée de chaque tronçon par la commande « steady flow data » (figure 5.9). Pour analyser les risques d'inondation, différentes crues sont considérées dans notre cas d'étude (10ans, 20ans, 25ans, 50ans, 100ans, 1000ans)

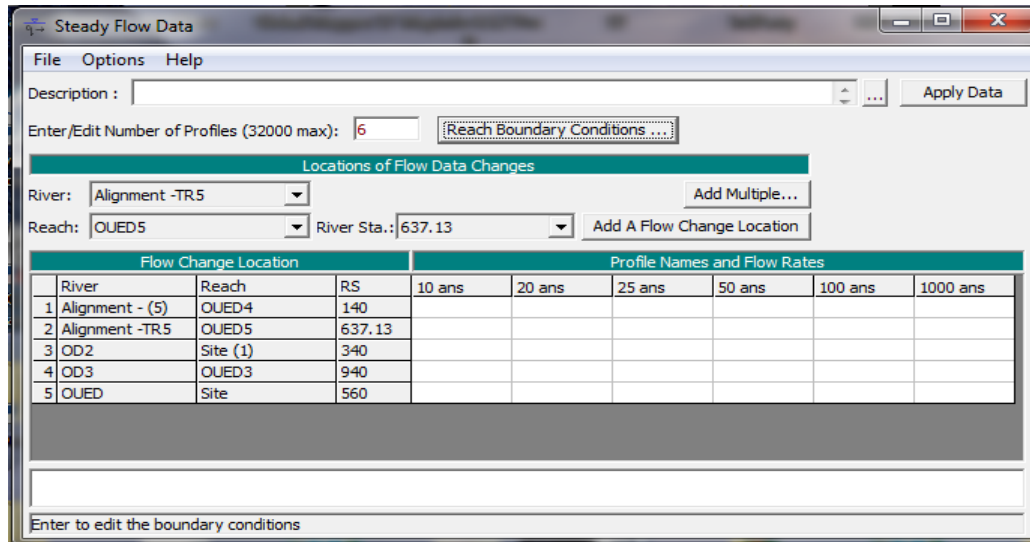


Figure 5.10 : insertion des débits

d- définitions des conditions aux limites

Les conditions aux limites sont définies en amont et en aval de chaque tronçons par la commande « **Reach Boundary Conditions** »

- Le type de conditions aux limites considérées sont : hauteur critique de l'écoulement, jonction. Notons que les pentes sont importées dans le levé topo (figure 5.10).

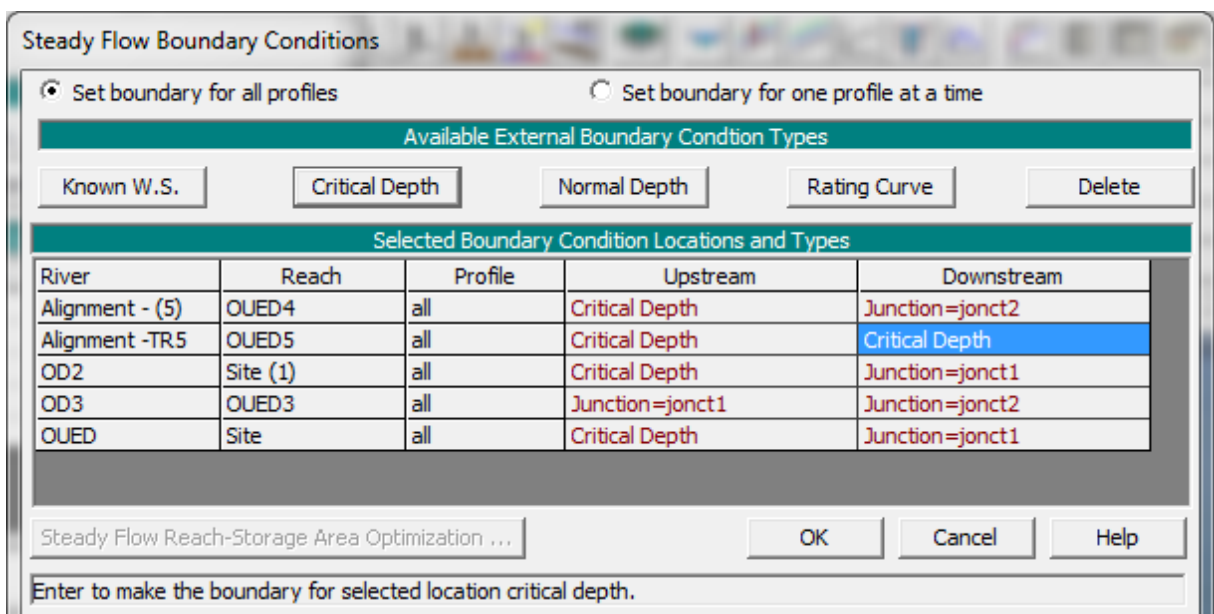


Figure 5.11 : Condition au limite

d- Choix des valeurs de rugosité de Manning

Les valeurs de coefficient de frottement (Manning) de notre cours d'eau ont été fixées en fonction de la nature du canal et des matériaux qui le constituent, et ce conformément au tableau de Chow (1959), présenté en annexe 1. Les valeurs choisies pour notre canal sont illustrées dans le tableau 5.1.

les valeurs n de Manning pour sont pris de l'annexe 2.

Tableau 5.1: Valeurs de la rugosité du cours d'eau

Berge droite	Lit mineur	Berge gauche
l'herbe courte	Chenaux dragués pas de végétation	l'herbe courte
0.035	0.033	0.035

Ces valeurs sont introduites dans Hec-Ras par la commande « Edit Manning's n or k values », comme l'illustre la figure 5.11.

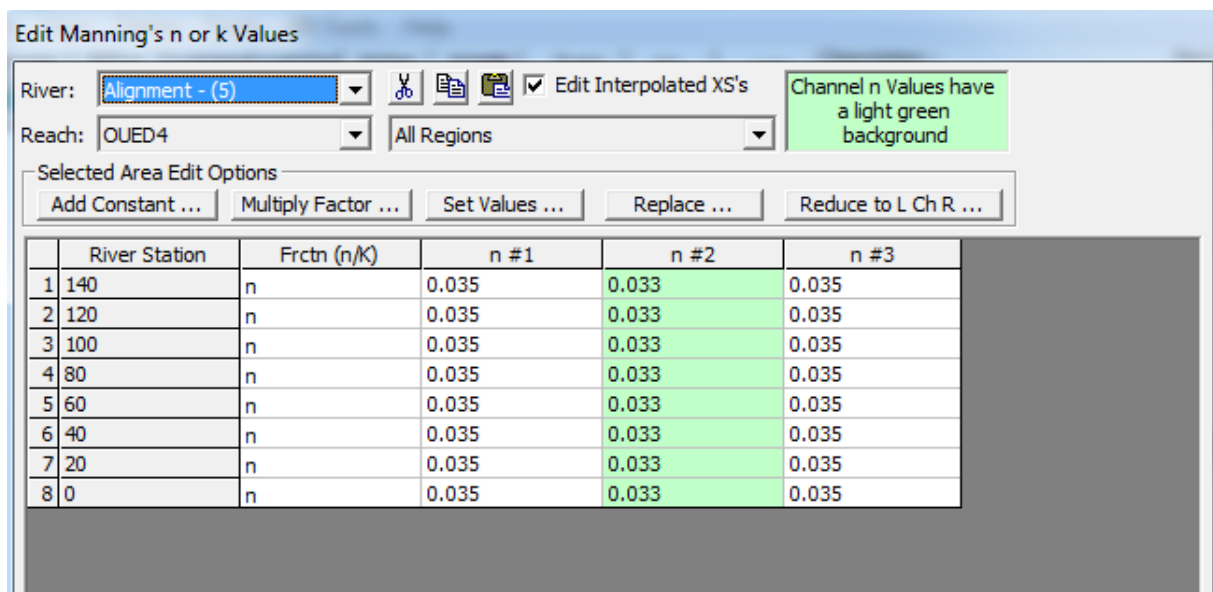


Figure 5. 12 : Edit Manning's n or k values

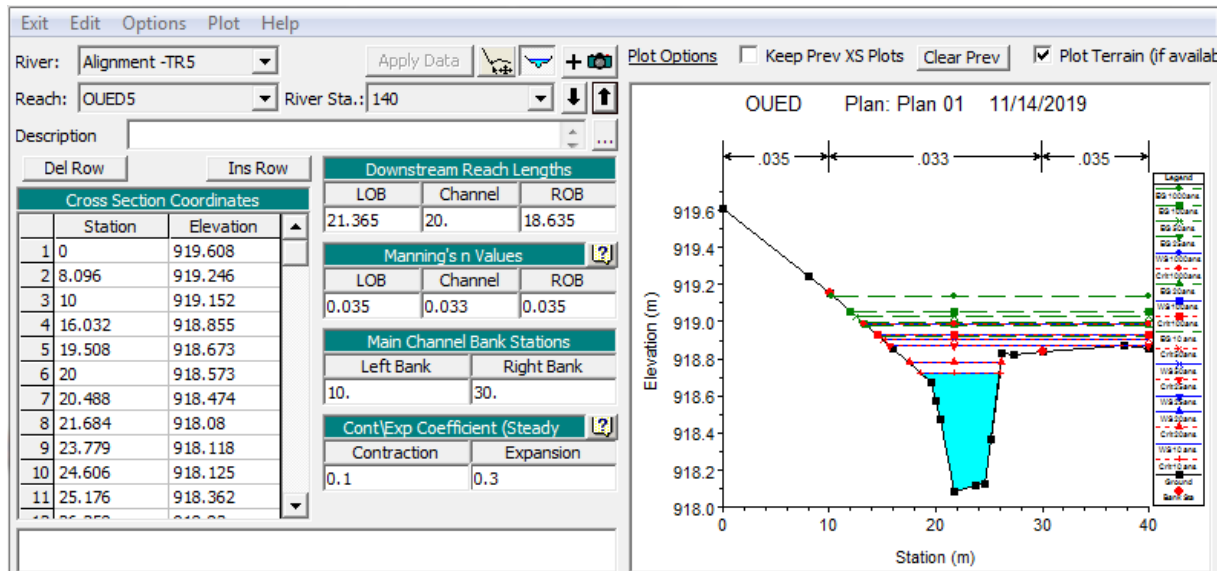


Figure 5.13 : Illustration d'une section en travers

5.6.2. Lancement de la simulation

Après avoir défini la géométrie, les données hydrométriques (le débit), les conditions aux limites nécessaires à la simulation, et après avoir enregistré les fichiers correspondants, nous définissons le type de régime, soit supercritique (torrentiel) pour un écoulement permanent) la simulation hydraulique est lancée.

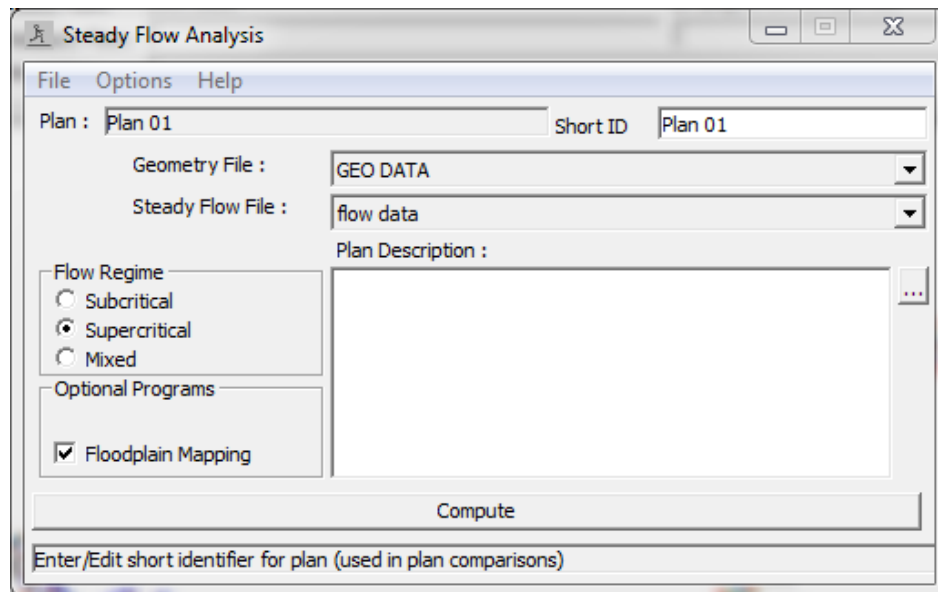


Figure 5.14 : Fenêtres de simulation pour le régime permanent

Un organigramme résumant les différentes étapes est présenté ci-dessous :

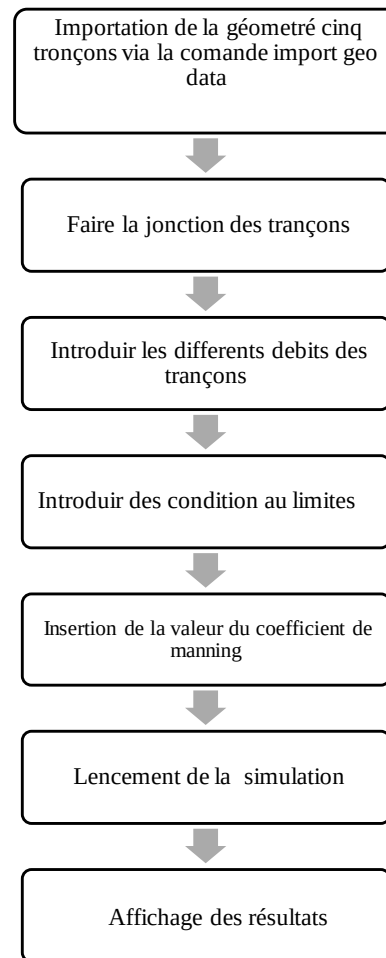


Figure 5.15 : Les différentes étapes pour une simulation dans Hec-Ras

5.6.4. Résultats de la simulation et interprétation

Une fois que le modèle fini tous les calculs avec succès, on peut commencer à visualiser les résultats. Plusieurs options de visualisation des résultats de calcul sont disponibles.

Les résultats des simulations pour une crue centennale sont représentés dans les tableaux 5.2 et 5.3. Pour les tronçons 3 et 5, tel que le tronçon 3 est une jonction entre le tronçon 1 et le tronçon 2, par contre le tronçon 5 est une jonction de tous les tronçons. Ou :

- River sta : Station
- Q (m³/s) : Débit
- Min ch (m) : Cote minimale de la section
- W.S Elev (m) : Cote de niveau d'eau
- Crit w.s (m) : Cote de niveau d'eau pour un écoulement critique
- E.G Elev (m) : Cote d'énergie
- E.G Slope (m/m) : Pente de la ligne d'énergie
- Vel Chnl (m/s) : Vitesse de la zone centrale de la section

- Flow Area (m²) : Surface hydraulique de la section (surface mouillée)
- Top Width (m) : Largeur hydraulique de la section (largeur au miroir)
- Froude : Nombre de Froude

- **Tronçon 3**

Tableau 5.2 : Résultats de la simulation pour une période de retour de 100 ans tronçon 3

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
OUED3	940	100ans	3.68	921.51	921.96	921.96	922.14	0.013371	1.85	1.99	5.83	1.01
OUED3	920	100ans	3.68	921.53	921.91	921.91	922.06	0.013436	1.7	2.16	7.28	1
OUED3	900	100ans	3.68	921.48	922.11	922.11	922.3	0.01301	1.95	1.89	4.94	1.01
OUED3	880	100ans	3.68	921.75	922.35	922.35	922.56	0.012732	2.03	1.81	4.3	1
OUED3	860	100ans	3.68	922.35	922.74	922.74	922.9	0.013732	1.77	2.08	6.6	1.01
OUED3	840	100ans	3.68	922.49	923	923	923.17	0.013208	1.82	2.02	5.92	1
OUED3	820	100ans	3.68	922.86	923.48	923.48	923.67	0.013127	1.93	1.9	5.1	1.01
OUED3	800	100ans	3.68	923.05	923.67	923.67	923.87	0.012907	1.97	1.87	4.81	1.01
OUED3	780	100ans	3.68	923.26	923.92	923.92	924.1	0.013971	1.88	1.96	5.54	1.01
OUED3	760	100ans	3.68	923.64	924.34	924.34	924.56	0.013488	2.05	1.79	4.27	1.01
OUED3	740	100ans	3.68	923.92	924.63	924.63	924.87	0.01323	2.17	1.7	3.62	1.01
OUED3	720	100ans	3.68	924.18	925.02	925.02	925.27	0.013577	2.21	1.66	3.42	1.01
OUED3	700	100ans	3.68	924.78	925.37	925.37	925.59	0.013135	2.05	1.8	4.28	1.01
OUED3	680	100ans	3.68	925.16	925.79	925.79	926.01	0.013375	2.07	1.78	4.14	1.01
OUED3	660	100ans	3.68	925.82	926.3	926.3	926.44	0.013996	1.67	2.2	7.62	1
OUED3	640	100ans	3.68	926.53	927.24	927.24	927.43	0.013364	1.95	1.89	5.03	1.02
OUED3	620	100ans	3.68	926.75	927.33	927.33	927.52	0.01308	1.95	1.89	4.96	1.01
OUED3	600	100ans	3.68	927.13	927.79	927.79	927.99	0.012918	2.02	1.82	4.4	1
OUED3	580	100ans	3.68	928.4	928.71	928.71	928.85	0.012635	1.26	2.23	7.46	0.9
OUED3	560	100ans	3.68	929.12	929.46	929.46	929.57	0.01455	1.46	2.52	11.49	1
OUED3	540	100ans	3.68	929.53	929.92	929.92	930.05	0.014083	1.6	2.3	8.87	1
OUED3	520	100ans	3.68	930.45	930.81	930.81	930.93	0.014107	1.54	2.38	9.72	1
OUED3	500	100ans	3.68	931.23	931.57	931.57	931.69	0.014551	1.48	2.49	11.04	1
OUED3	480	100ans	3.68	931.44	931.77	931.77	931.88	0.014408	1.49	2.47	10.77	1
OUED3	460	100ans	3.68	931.91	932.35	932.35	932.51	0.013444	1.78	2.07	6.48	1.01
OUED3	440	100ans	3.68	932.49	932.95	932.95	933.11	0.013129	1.81	2.03	6.07	1
OUED3	420	100ans	3.68	932.93	933.55	933.55	933.76	0.013048	2.03	1.81	4.34	1.01
OUED3	400	100ans	3.68	933.5	933.97	933.97	934.15	0.01313	1.89	1.95	5.41	1.01

OUED3	380	100ans	3.68	933.66	933.98	933.98	934.08	0.016462	1.35	2.73	15.26	1.02
OUED3	360	100ans	3.68	932.06	932.41	932.41	932.55	0.018189	1.51	2.22	9.45	1.08
OUED3	340	100ans	3.68	932.71	933.4	933.4	933.58	0.013124	1.86	1.97	5.6	1
OUED3	320	100ans	3.68	933.08	933.79	933.79	933.97	0.013445	1.92	1.91	5.19	1.01
OUED3	300	100ans	3.68	933.74	934.4	934.4	934.6	0.013384	1.94	1.9	5.07	1.01
OUED3	280	100ans	3.68	934.39	934.98	934.98	935.15	0.013641	1.8	2.04	6.34	1.02
OUED3	260	100ans	3.68	935.23	935.73	935.73	935.88	0.014204	1.66	2.21	8.02	1.01
OUED3	240	100ans	3.68	935.93	936.45	936.45	936.58	0.014428	1.6	2.29	8.94	1.01
OUED3	220	100ans	3.68	936.59	937.06	937.06	937.22	0.013711	1.75	2.1	6.87	1.01
OUED3	200	100ans	3.68	936.84	937.56	937.56	937.72	0.01504	1.81	2.03	6.48	1.03
OUED3	180	100ans	3.68	937.32	937.92	937.92	938.08	0.013819	1.8	2.04	6.39	1.02
OUED3	160	100ans	3.68	937.76	938.31	938.31	938.48	0.013233	1.81	2.04	6.16	1
OUED3	140	100ans	3.68	938.07	938.63	938.63	938.8	0.013274	1.82	2.02	6.03	1
OUED3	120	100ans	3.68	938.65	939.06	939.06	939.23	0.01322	1.86	1.97	5.6	1
OUED3	100	100ans	3.68	939.1	939.6	939.6	939.75	0.01317	1.76	2.09	6.62	1
OUED3	80	100ans	3.68	939.46	940.18	940.18	940.39	0.013483	1.99	1.85	4.77	1.02
OUED3	60	100ans	3.68	940.28	940.93	940.93	941.1	0.013511	1.82	2.02	6.05	1.01
OUED3	40	100ans	3.68	940.98	941.61	941.61	941.79	0.012955	1.89	1.95	5.36	1
OUED3	20	100ans	3.68	941.98	942.48	942.48	942.67	0.012991	1.91	1.93	5.2	1

- **Tronçon 5**

Tableau 5.3 : Résultats de la simulation pour une période de retour de 100 ans tronçon 5

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
OUED5	637.13	100ans	6.44	903.76	904.63	904.63	904.96	0.016163	2.56	2.52	3.84	1.01
OUED5	620	100ans	6.44	905.02	905.77	905.77	906.06	0.015519	2.41	2.67	4.56	1
OUED5	600	100ans	6.44	906.49	907.15	907.15	907.42	0.014886	2.31	2.79	5.18	1.01
OUED5	580	100ans	6.44	906.62	907.41	907.41	907.69	0.015097	2.35	2.75	4.97	1.01
OUED5	560	100ans	6.44	906.88	907.51	907.51	907.76	0.015245	2.2	2.93	6.02	1.01
OUED5	540	100ans	6.44	907.23	907.91	907.91	908.17	0.014685	2.24	2.87	5.67	1.01
OUED5	520	100ans	6.44	907.9	908.37	908.37	908.55	0.015611	1.89	3.41	9.46	1
OUED5	500	100ans	6.44	908.14	908.83	908.83	909.1	0.014842	2.28	2.82	5.4	1.01
OUED5	480	100ans	6.44	908.35	909.03	909.03	909.29	0.014596	2.26	2.85	5.52	1.01
OUED5	460	100ans	6.44	908.59	909.49	909.49	909.79	0.014904	2.44	2.64	4.4	1
OUED5	440	100ans	6.44	909.25	910.08	910.08	910.34	0.015118	2.27	2.84	5.55	1.01

OUED5	420	100ans	6.44	909.54	910.26	910.26	910.48	0.014691	2.04	3.15	7.41	1
OUED5	400	100ans	6.44	910.12	910.75	910.75	910.98	0.01531	2.12	3.04	6.78	1.01
OUED5	380	100ans	6.44	910.22	911.01	911.01	911.27	0.015125	2.28	2.82	5.43	1.01
OUED5	360	100ans	6.44	910.85	911.58	911.58	911.87	0.015145	2.41	2.67	4.57	1.01
OUED5	340	100ans	6.44	911.65	912.46	912.46	912.79	0.015432	2.53	2.55	3.93	1
OUED5	320	100ans	6.44	913.4	914.22	914.22	914.48	0.014541	2.27	2.84	5.47	1
OUED5	300	100ans	6.44	914.25	915.06	915.06	915.3	0.014582	2.18	2.95	6.14	1
OUED5	280	100ans	6.44	914.36	915.28	915.28	915.61	0.015471	2.55	2.53	3.84	1
OUED5	260	100ans	6.44	914.42	915.33	915.33	915.61	0.014737	2.34	2.76	5.06	1.01
OUED5	240	100ans	6.44	915.12	916.1	916.1	916.36	0.014851	2.25	2.86	5.65	1.01
OUED5	220	100ans	6.44	916.12	916.91	916.91	917.13	0.014976	2.08	3.09	7.13	1.01
OUED5	200	100ans	6.44	916.5	917.33	917.33	917.58	0.014696	2.2	2.93	6.07	1.01
OUED5	180	100ans	6.44	916.95	917.66	917.66	917.91	0.014661	2.2	2.93	6.08	1.01
OUED5	160	100ans	6.44	917.28	918.03	918.03	918.28	0.014576	2.23	2.89	5.81	1.01
OUED5	140	100ans	6.44	918.08	918.77	918.77	918.96	0.01533	1.97	3.27	8.36	1.01
OUED5	120	100ans	6.44	918.65	919.17	919.17	919.35	0.015121	1.86	3.46	9.66	0.99
OUED5	100	100ans	6.44	918.89	919.54	919.54	919.75	0.014829	2.02	3.22	8.91	1
OUED5	80	100ans	6.44	919.3	919.93	919.93	920.1	0.015601	1.82	3.56	11.52	1
OUED5	60	100ans	6.44	919.76	920.43	920.43	920.56	0.017458	1.62	4	16.58	1.02
OUED5	40	100ans	6.44	920.08	920.67	920.67	920.9	0.014866	2.09	3.08	7	1
OUED5	20	100ans	6.44	920.63	921.22	921.22	921.41	0.015702	1.91	3.38	9.18	1

Il y a lieu de constater que les vitesses d'écoulement sont comprises entre (1.26 m/s à 2 .21m/s) pour le tronçon 3 et entre (1.62 à 2.56 et) pour le tronçon 5.

-La vitesse d'écoulement varie entre 1.5m/s à 2.56 m/s ces valeurs sont supérieures à la vitesse admissible de l'eau dans canal (type de sol argileux) qui est égale à 0.2 m/s (annexe3). Ce qui provoque le phénomène d'érosion (affouillement).

-Le nombre de Froude $Fr = 1$, nous a permis de classer l'écoulement comme un écoulement critique.

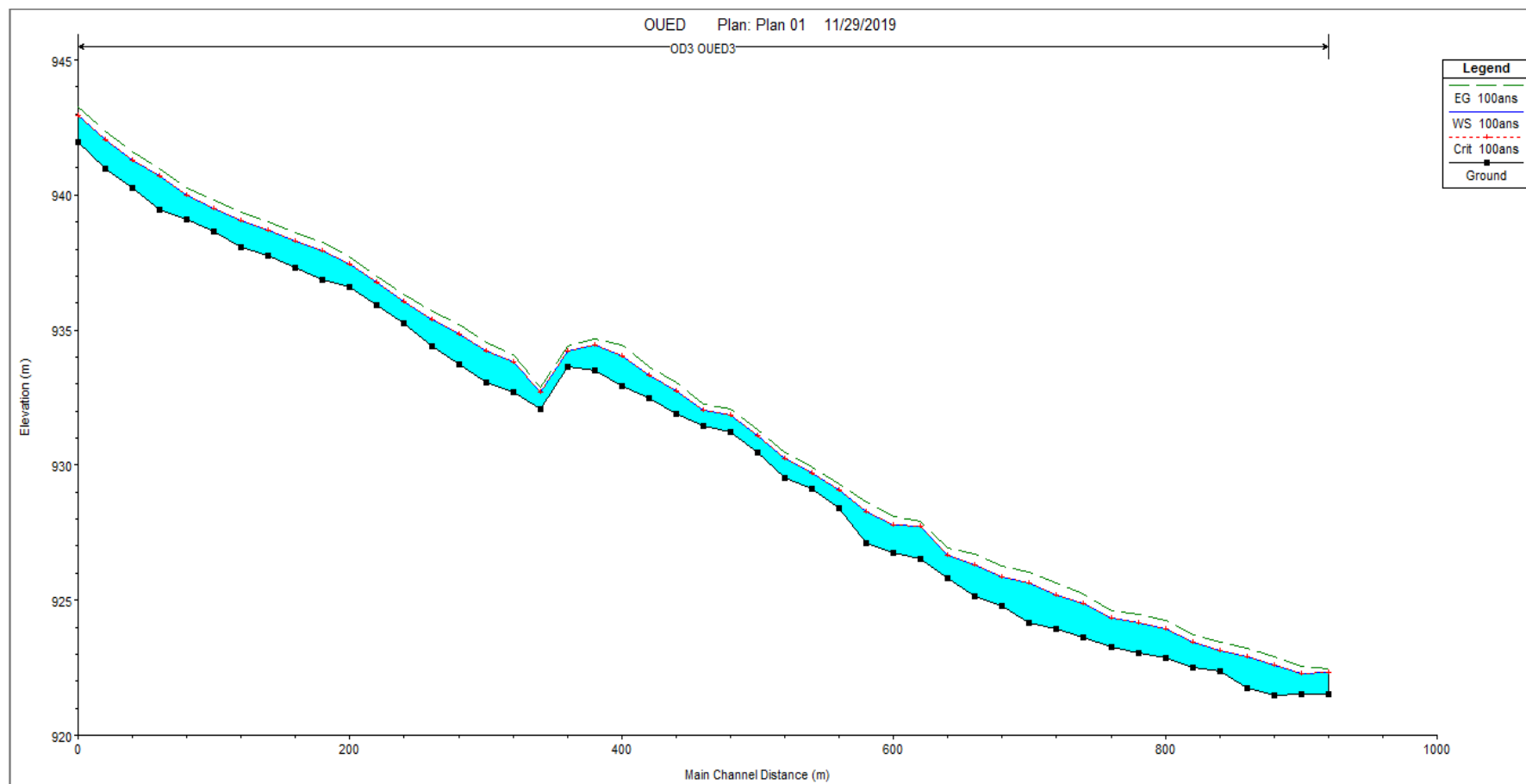


Figure 5.16 : Profil en long du tronçon 3 à l'état naturel pour une crue centennale

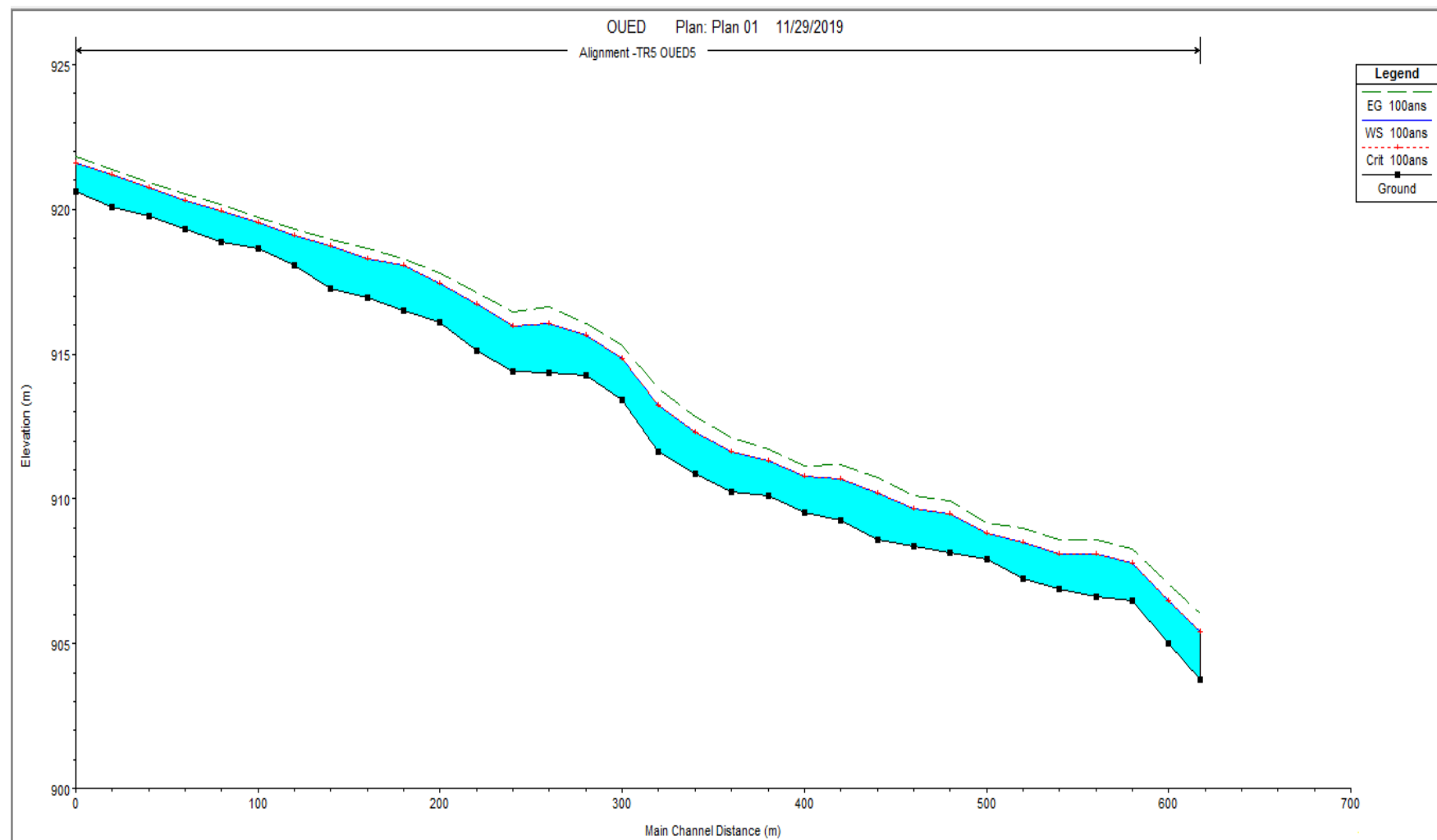


Figure 5.17 : Profil en long du tronçon 5 à l'état naturel pour une crue centennale

Une représentation en 3D est donnée en figures 5.17 et 5.18. Ces figures illustrent le débordement de l'écoulement au-delà des rives au niveau de certaines zones. Ce débordement est bien illustré sur les profils en travers de quelques sections (figure 5.19). Ces zones d'inondation sont identifiées à partir des axes des berges (figures 5.17 et 5.18).

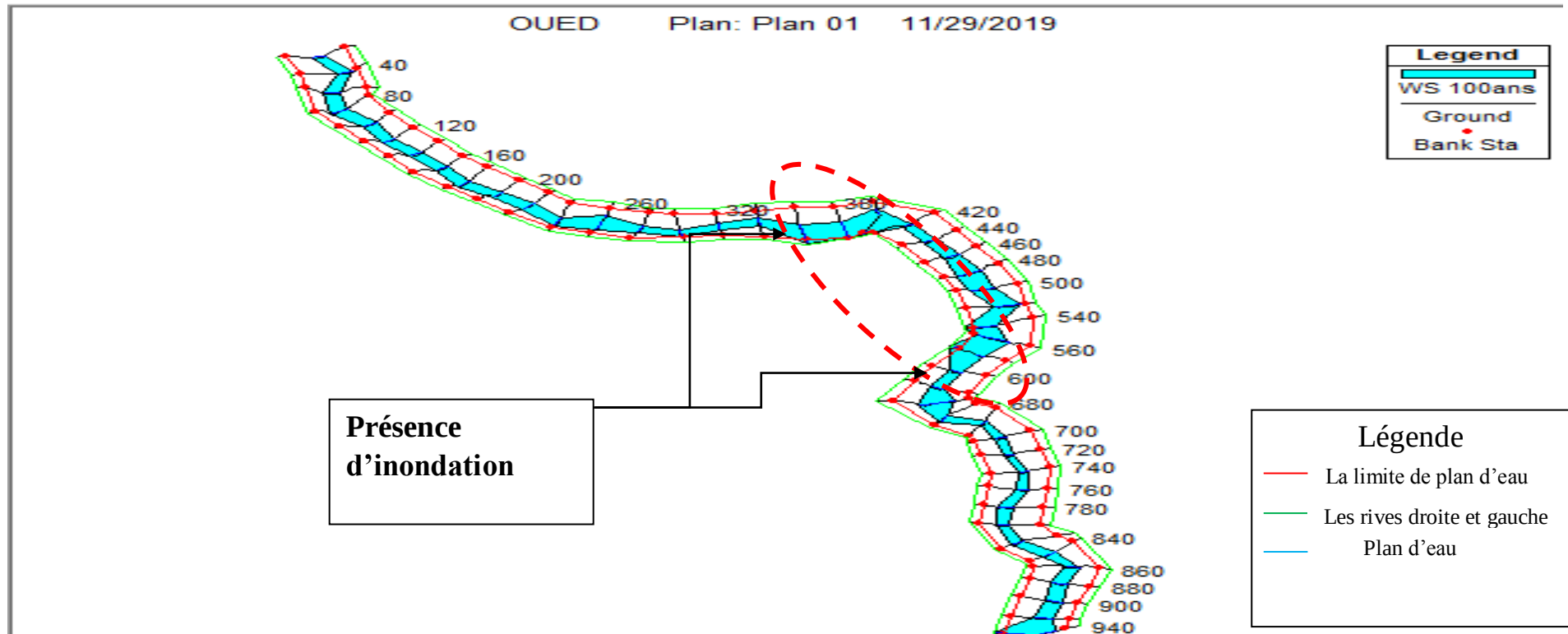
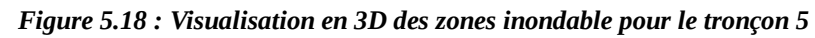


Figure 5.17 : Visualisation en 3D des zones inondables pour le tronçon 3



5.6.5. Morphologie de l'oued et risques d'inondations

La morphologie représentée par la forme et le profil de l'oued est en lien directe avec les risques potentiels des inondations. Une simulation des inondations par modélisation selon cette morphologie et à partir de la note de calcul pour la crue centennale (Q100 ans) a permis de déterminer l'ensemble des zones inondables (tableau 6.3) et (tableau 6.4).

Tableau 5.4 : Risques d'inondations par station pour tronçon 3

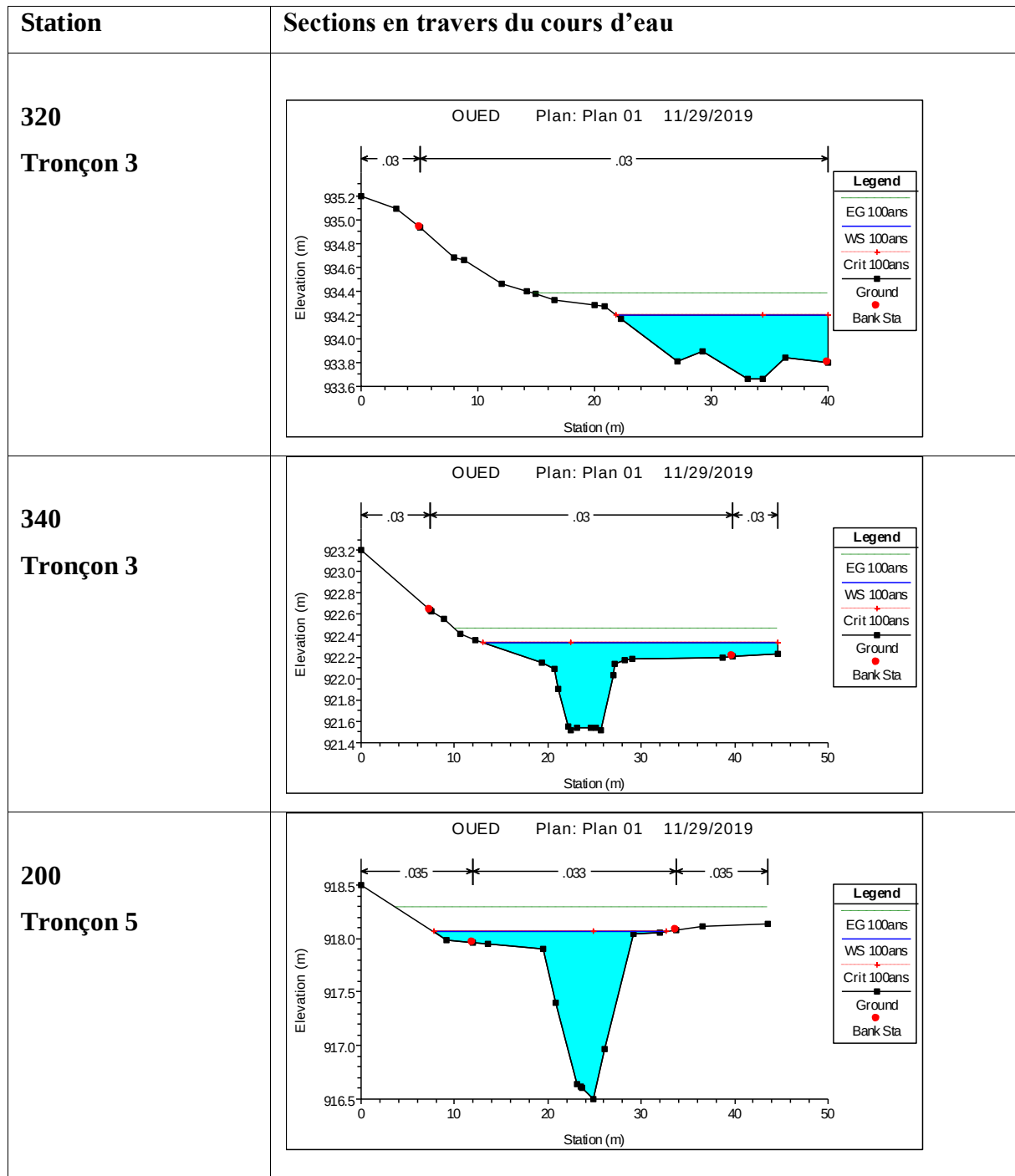
Station	Observations
20	Pas d'inondation des rives
40	Pas d'inondation des rives
60	Pas d'inondation des rives
80	Pas d'inondation des rives
100	Pas d'inondation des rives
120	Pas d'inondation des rives
140	Pas d'inondation des rives
160	Pas d'inondation des rives
180	Pas d'inondation des rives
200	Pas d'inondation des rives
220	Pas d'inondation des rives
240	Pas d'inondation des rives
260	Pas d'inondation des rives
280	Pas d'inondation des rives
300	Pas d'inondation des rives
320	Inondation rive droite
340	Inondation rive droite
360	Inondation rive droite
380	Pas d'inondation des rives
400	Pas d'inondation des rives
420	Pas d'inondation des rives
440	Pas d'inondation des rives
460	Pas d'inondation des rives
480	Pas d'inondation des rives
500	Pas d'inondation des rives
520	Inondation rive droite
540	Inondation rive droite
560	Inondation rive droite
580	Inondation rive droite
600	Inondation rive droite
620	Pas d'inondation des rives
640	Pas d'inondation des rives
660	Pas d'inondation des rives
680	Pas d'inondation des rives
700	Pas d'inondation des rives
720	Pas d'inondation des rives
740	Pas d'inondation des rives
760	Pas d'inondation des rives
780	Pas d'inondation des rives

800	Pas d'inondation des rives
820	Pas d'inondation des rives
840	Pas d'inondation des rives
860	Pas d'inondation des rives
880	Pas d'inondation des rives
900	Pas d'inondation des rives
920	Pas d'inondation des rives
940	Pas d'inondation des rives

Tableau 5.5 : Risques d'inondations par station pour tronçon 5

Station	Observations
20	Inondation rive droite
40	Inondation rive droite
60	Inondation rive droite
80	Inondation rive droite
100	Inondation rive droite
120	Inondation rive droite
140	Inondation rive droite
160	Inondation rive droite
180	Inondation rive droite
200	Inondation rive droite
220	Inondation rive droite
240	Inondation rive droite
260	Pas d'inondation des rives
280	Pas d'inondation des rives
300	Pas d'inondation des rives
320	Pas d'inondation des rives
340	Pas d'inondation des rives
360	Pas d'inondation des rives
380	Pas d'inondation des rives
400	Pas d'inondation des rives
420	Pas d'inondation des rives
440	Pas d'inondation des rives
460	Pas d'inondation des rives
480	Pas d'inondation des rives
500	Pas d'inondation des rives
520	Pas d'inondation des rives
540	Pas d'inondation des rives
560	Pas d'inondation des rives
580	Pas d'inondation des rives
600	Pas d'inondation des rives
620	Pas d'inondation des rives
637,13	Pas d'inondation des rives

Par ailleurs, lorsqu'on analyse les sections en travers du cours d'eau on constate que la hauteur des berges n'est pas suffisante pour éviter les débordements du lit mineur. Un extrait des sections inondables est illustré dans la figure 5.19 pour les deux tronçons 3 et 5.



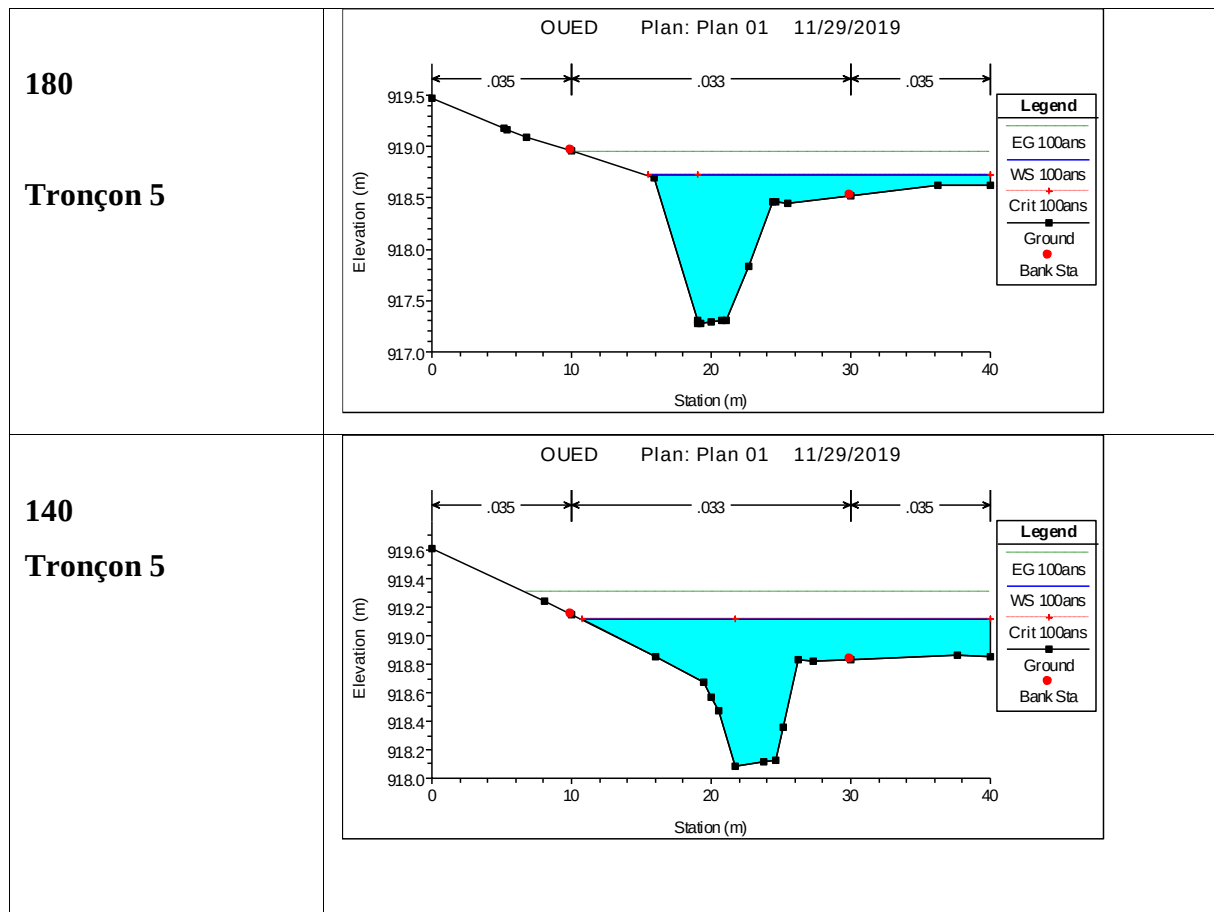


Figure 5.19: Sections en travers des tronçons

Conclusion

Dans ce chapitre, on s'est intéressé à l'identification des zones potentiellement exposées aux risques d'inondations, le modèle HEC-RAS nous a permis de modéliser l'écoulement sur l'oued ainsi connaître son comportement quand il sera soumis à une crue centennale, les vitesses d'écoulement sont supérieures à la vitesse admissible d'eau dans un canal 0.2m/s (type de sol argileux), ce qui provoque le phénomène d'affouillement.

Afin de sécuriser notre canal contre les inondations et le phénomène d'affouillement. Différente variante de l'aménagement et son revêtement contre les érosions de notre canal par un canal artificiel seront proposés et étudiés dans le prochain chapitre.

Chapitre 06 : Aménagement du cours d'eau

Introduction

La simulation de l'écoulement sous le Logiciel Hec-Ras a révélé un risque d'inondation sur deux tronçons de l'oued, à savoir le 03 et le 05. Afin de sécuriser la zone de tout débordement, nous procédons, dans ce chapitre, à l'aménagement de l'oued avec un canal artificiel de la forme trapézoïdale.

Pour se rapprocher le plus de la forme naturelle de l'oued, trois variantes sont envisageables dans le but de sécuriser les zones inondables. Ces propositions d'aménagement sont motivées par le souci de garder l'oued dans son lit d'origine avec un écoulement aussi naturel que possible, malgré la complexité que cela traduit, en matière d'affouillement.

6.1. Propositions d'aménagement

- Variante 1

Cette variante consiste à réaliser un canal trapézoïdal en terre comme l'illustre la figure 6.1, de la section 320 à la section 360 et de la section 520 à la section 600 pour le tronçon 3 (figure 5.17), et de la section 20 à la section 240, pour le tronçon 5 (figure 5.18). Un calcul estimatif du montant de l'aménagement des deux tronçons est présenté dans le tableau 6.1.

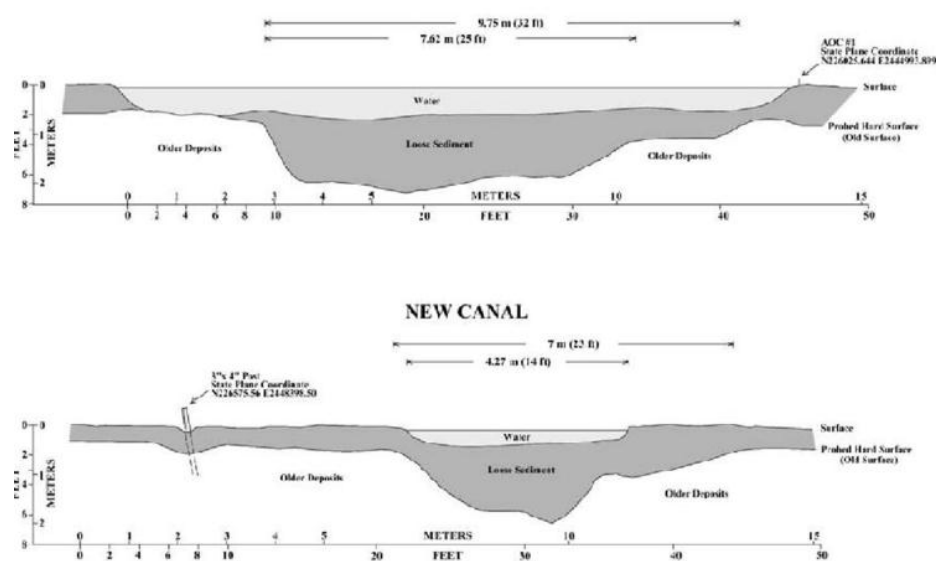


Figure 6.1 : canal trapézoïdale en terre.

Tableau 6.1 : Estimation financière de la variante 1.

	Tronçon	L (m)	Long Développe	Epaisseur	Volume	P. Unitaire	Montant (DA)
oued 3	De pt 320 à 360	40	8	0,3	96,00	1200,00	115200,00
	De pt 520 à 600	80	8	0,3	192,00	1200,00	230400,00
oued 5	De pt 20 à 240	180	8	0,3	432,00	1200,00	518400,00
Total							864000,00

- **Variante 2**

Cette variante consiste à réaliser un canal trapézoïdal en béton armé (figure 6.2) de la section 320 à la section 360 et de la station 520 à la station 600 pour le tronçon 3, et de la section 20 à la section 240 pour le tronçon 5. Une estimation de l'aménagement est présentée dans le tableau 6.2.

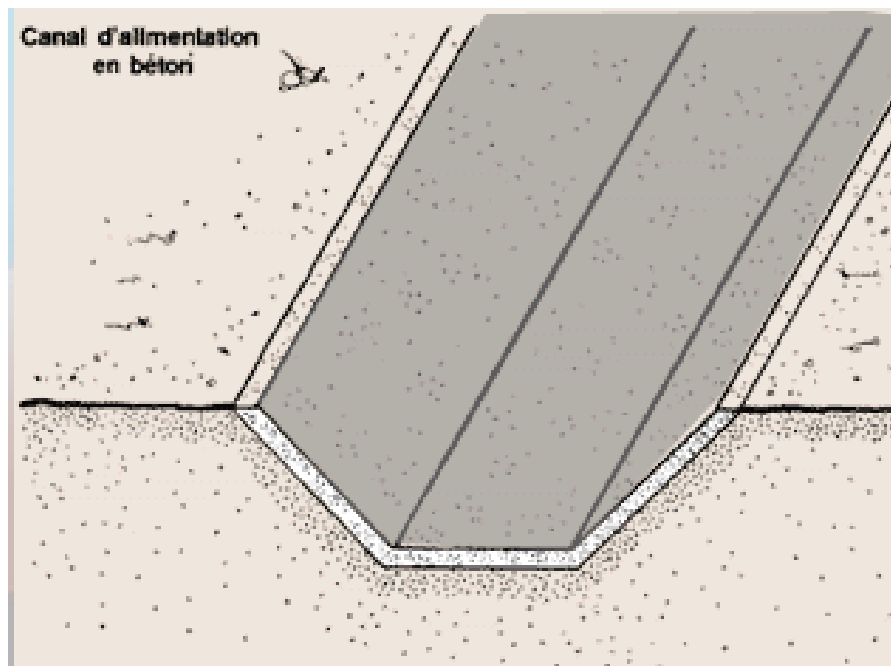


Figure 6.2: Canal trapézoïdal en béton armé.

Tableau 6.2 : Estimation financière de la variante 2.

	Tronçon	L (m)	Long Dévlope	Epaisseur	Volume	P. Unitaire	Montant (DA)
oued 3	De pt 320 à 360	40	8	0,3	96,00	45 000,00	4 320 000,00
	De pt 520 à 600	80	8	0,3	192,00	45 000,00	8 640 000,00
oued 5	De pt 20 à 240	180	8	0,3	432,00	45 000,00	19 440 000,00
Total							32 400 000,00

- **Variante 3**

Cette variante consiste à réaliser un canal trapézoïdal en matelas Reno (figure 6.3) de la section 320 à la section 360 et de la station 520 à la station 600 pour le tronçon 3, et de la section 20 à la section 240, pour le tronçon 5. Une estimation de l'aménagement est présentée dans le tableau 6.3 :



Figure 6.3 Canal en matelas Reno au fond et sur les berges.

Tableau 6.3 : Estimation financière de la variante 3.

	Tronçon	L (m)	Long Développe	Epaisseur	Volume	P. Unitaire	Montant (DA)
oued 3	De pt 320 à 360	40	8	0,4	128,00	15 000,00	1 920 000,00
	De pt 520 à 600	80	8	0,4	256,00	15 000,00	3 840 000,00
oued 5	De pt 20 à 240	180	8	0,4	576,00	15 000,00	8 640 000,00
Total							14 400 000,00

- **Choix de la variante sur des critères technico – économique**

Après analyse des bilans estimatifs des aménagements, nous retenons ce qui suit :

- La variante 2 (béton armé) ne pose pas de problème d'affouillement, mais elle reste tout de même onéreuse.
- La variante 1 (canal naturel) n'est pas onéreuse, mais risque de poser des problèmes d'affouillement, à cet effet, une vérification à l'affouillement sera nécessaire.
- La variante 3 (matelas Reno) est moins couteuse comparé au béton arme et aussi ne pose pas de problème d'affouillement.

A cet effet, nous retenons les deux variantes 1 et 3

6.2. Calcul hydraulique

6.2.1. Exposé de la méthode utilisée [11]

La méthode de calcul adoptée pour le dimensionnement des canaux gravitaires et de forme trapézoïdale est présentée ci-dessous.

Les sections et pentes sont évaluées pour assurer une vitesse d'effluents suffisamment élevée pour assurer l'auto-curage, réalisé lorsque les vitesses sont de l'ordre de 0,30 m/sec. Les débits par tronçon et la vitesse limite de curage étant connus ; les dimensions des caniveaux se calculent à partir de la relation du débit :

$$Q = V \cdot S_m \dots\dots\dots (6.1)$$

Avec :

- Q : débit (m³/s)
- V : vitesse de l'écoulement (m/s)
- S_m : section mouillée (m²)

Les vitesses par tronçons sont vérifiées à l'aide de la relation de Chézy découlant de celle de BAZIN :

$$V = C \cdot \sqrt{Rh \cdot I} \dots\dots\dots (6.2)$$

Avec :

- V : vitesse moyenne d'écoulement (m/s)
- C : le coefficient de rugosité de Chezy
- R_h : le rayon hydraulique(m)
- I : la pente de l'écoulement.

❖ Le coefficient de Chezy

Le coefficient de Chezy est donné par la formule de Manning.

$$C = \frac{1}{n} \cdot Rh^{1/6} \dots\dots\dots (6.3)$$

Avec :

η : désigne le coefficient d'écoulement, dont les valeurs dépendent de la nature des parois

Pour les canaux en béton armé sans enduit, le coefficient d'écoulement est pris η = 0,014.

Pour les canaux en terre en mauvaises conditions d'entretien ; végétation au fond et sur les berges ou dépôts irréguliers de pierres et gravier ou profondes érosions. Même canaux en terre creusés avec engins mécaniques et entretien négligé, le coefficient d'écoulement est pris η =

0,033. Pour canaux en enrochement, le coefficient d'écoulement est donné par les relations suivantes :

Formule de strickler :

$$\eta = \frac{d_{50}^{1/6}}{21} \dots \dots \dots (7.8)$$

Formule de Meyer-Peter et Muller :

$$\eta = \frac{d_{90}^{1/6}}{26} \dots \dots \dots (7.9)$$

Dans ces formules η est exprimé en $\text{s}/\text{m}^{1/3}$, toute fois nous recommandons l'utilisation de l'équation (7.8) lorsque la granulométrie est étroite et l'équation (7.9) lorsque elle est étalée. Etant donné que la granulométrie est étroite, le coefficient d'écoulement est alors par la relation suivante :

$$\eta = \frac{0.20^{1/6}}{21} = 0.0364 \dots \dots \dots (7.10)$$

Le rayon hydraulique R_h est défini par le rapport de la section de l'écoulement sur le périmètre, comme suit :

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} \dots \dots \dots (7.11)$$

- **La section mouillée S_m** est évaluée en fonction de la largeur du fond du canal (b) (figure 6.4), de la hauteur d'eau (y) et de l'angle d'inclinaison (θ) des parois par la relation (7.12) :

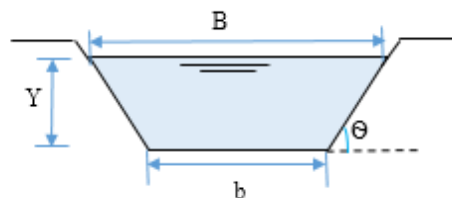


Figure 6.4 : géométrie d'un canal trapézoïdale

$$S_m = y \cdot (b + y \cdot \cot \theta) \dots \dots \dots (7.12)$$

- **Le périmètre mouillé P_m** est évalué en fonction de la largeur du fond du canal (b), de la hauteur d'eau (y) et de l'angle d'inclinaison (θ) des parois par la relation (7.13) :

$$P_m = b + \frac{2 \cdot y}{\sin \theta} \dots \dots \dots (7.13)$$

Un organigramme du calcul hydraulique et dimensionnement du canal est présenté en figure

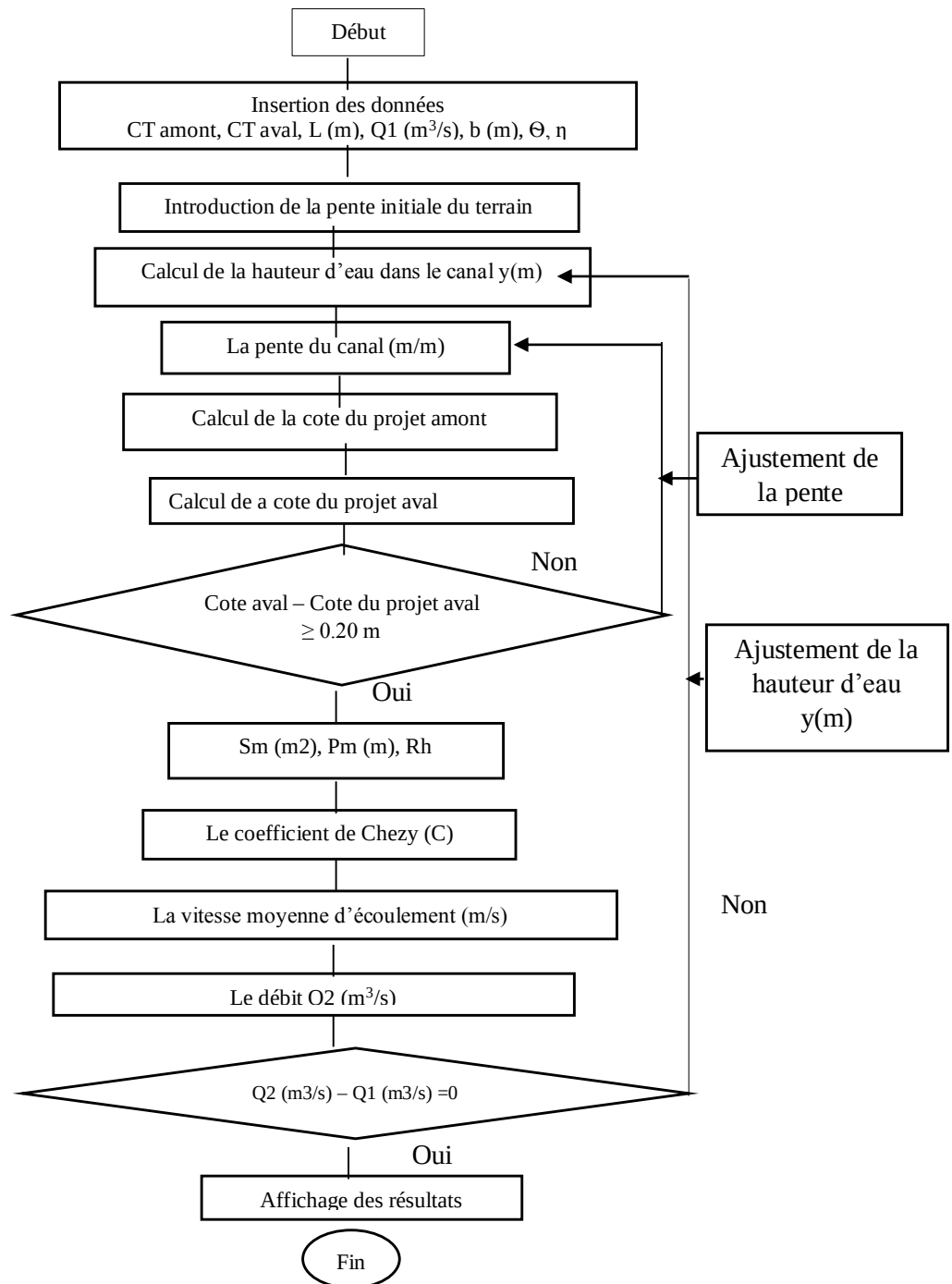


Figure 6.5 : organigramme du calcul hydraulique

6.2. 2. Résultats du calcul hydraulique d'un canal en terre

Le calcul hydraulique est effectué pour les deux tronçons 3 et 5, sur la base des débits obtenus à partir de l'étude hydrologique, pour une crue centennale, $Q_1 = 3.48 \text{ m}^3/\text{s}$ et $Q_2 = 6.44 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivement. A partir de ces débits, et en fixant la largeur b du canal nous procédons à l'ajustement des pentes et à l'évaluation de la lame d'eau y , conformément à la procédure de calcul résumée dans l'organigramme de la figure 6.2. Les résultats du calcul hydraulique sont présentés dans les tableaux 6.4 et 6

Tableau 6.4 : Calculs hydrauliques du canal en terre pour une crue centennale de l'oued 3.

Tronçon	Pt Amont	Pt aval	CT amont	ct aval	L M	y (m)	pente canal(m/m)	CP Am	cp av	b (m)	Θ°	Sm (m ²)	Pm (m)	Rh	cogn	c	v (m/s)	Q (m ³ /s)
1	1	2	941,98	940,98	20	0,20	0,052	941,98	940,94	8	40	1,62	8,53	0,19	0,033	22,96	2,28	3,68
2	2	3	940,98	940,28	20	0,22	0,035	940,94	940,24	8	40	1,82	8,60	0,21	0,033	23,40	2,02	3,68
3	3	4	940,28	939,46	20	0,21	0,04	940,24	939,44	8	40	1,75	8,57	0,20	0,033	23,25	2,10	3,68
4	4	5	939,46	939,1	20	0,26	0,02	939,44	939,04	8	40	2,17	8,70	0,25	0,033	24,04	1,70	3,68
5	5	6	939,1	938,65	20	0,26	0,02	939,04	938,64	8	40	2,17	8,70	0,25	0,033	24,04	1,70	3,68
6	6	7	938,65	938,07	20	0,23	0,03	938,64	938,04	8	40	1,91	8,62	0,22	0,033	23,58	1,92	3,68
7	7	8	938,07	937,76	20	0,27	0,018	938,04	937,68	8	40	2,24	8,73	0,26	0,033	24,16	1,64	3,68
8	8	9	937,76	937,32	20	0,26	0,02	937,68	937,28	8	40	2,17	8,70	0,25	0,033	24,04	1,70	3,68
9	9	10	937,32	936,84	20	0,25	0,025	937,28	936,78	8	40	2,02	8,66	0,23	0,033	23,78	1,82	3,68
10	10	11	936,84	936,59	20	0,30	0,013488	936,78	936,51	8	40	2,45	8,79	0,28	0,033	24,49	1,50	3,68
11	11	12	936,59	935,93	20	0,23	0,03	936,51	935,91	8	40	1,91	8,62	0,22	0,033	23,58	1,92	3,68
12	12	13	935,93	935,23	20	0,22	0,035	935,91	935,21	8	40	1,82	8,60	0,21	0,033	23,40	2,02	3,68
13	13	14	935,23	934,39	20	0,21	0,045	935,21	934,31	8	40	1,69	8,55	0,20	0,033	23,12	2,18	3,68
14	14	15	934,39	933,74	20	0,22	0,035	934,31	933,61	8	40	1,82	8,60	0,21	0,033	23,40	2,02	3,68
15	15	16	933,74	933,66	20	0,40	0,005	933,61	933,51	8	40	3,34	9,07	0,37	0,033	25,66	1,10	3,68
16	16	17	933,66	933,5	20	0,32	0,01	933,51	933,31	8	40	2,69	8,87	0,30	0,033	24,84	1,37	3,68
17	17	18	933,5	933,08	20	0,30	0,01308	933,31	933,05	8	40	2,47	8,80	0,28	0,033	24,53	1,49	3,68
18	18	19	933,08	932,93	20	0,30	0,012918	933,05	932,79	8	40	2,48	8,80	0,28	0,033	24,54	1,48	3,68
19	19	20	932,93	932,71	20	0,30	0,012635	932,79	932,54	8	40	2,50	8,81	0,28	0,033	24,57	1,47	3,68
20	20	21	932,71	932,49	20	0,32	0,01	932,54	932,34	8	40	2,69	8,87	0,30	0,033	24,84	1,37	3,68
21	21	22	932,49	932,06	20	0,29	0,015	932,34	932,04	8	40	2,37	8,77	0,27	0,033	24,37	1,55	3,68
22	22	23	932,06	931,91	20	0,29	0,014107	932,04	931,76	8	40	2,42	8,78	0,28	0,033	24,44	1,52	3,68
23	23	24	931,91	931,44	20	0,26	0,02	931,76	931,36	8	40	2,17	8,70	0,25	0,033	24,04	1,70	3,68
24	24	25	931,44	931,23	20	0,29	0,014408	931,36	931,07	8	40	2,40	8,78	0,27	0,033	24,41	1,53	3,68
25	25	26	931,23	930,45	20	0,21	0,04	931,07	930,27	8	40	1,75	8,57	0,20	0,033	23,25	2,10	3,68
26	26	27	930,45	929,53	20	0,21	0,04	930,27	929,47	8	40	1,75	8,57	0,20	0,033	23,25	2,10	3,68
27	27	28	929,53	929,12	20	0,27	0,018	929,47	929,11	8	40	2,24	8,73	0,26	0,033	24,16	1,64	3,68

28	28	29	929,12	928,4	20	0,22	0,037	929,11	928,37	8	40	1,79	8,59	0,21	0,033	23,34	2,05	3,68
29	29	30	928,4	927,13	20	0,18	0,065	928,37	927,07	8	40	1,51	8,49	0,18	0,033	22,72	2,44	3,68
30	30	31	927,13	926,75	20	0,27	0,018189	927,07	926,70	8	40	2,23	8,72	0,26	0,033	24,15	1,65	3,68
31	31	32	926,75	926,53	20	0,30	0,013124	926,70	926,44	8	40	2,47	8,80	0,28	0,033	24,52	1,49	3,68
32	32	33	926,53	925,82	20	0,23	0,032	926,44	925,80	8	40	1,88	8,61	0,22	0,033	23,50	1,96	3,68
33	33	34	925,82	925,16	20	0,22	0,034	925,80	925,12	8	40	1,84	8,60	0,21	0,033	23,44	2,00	3,68
34	34	35	925,16	924,78	20	0,26	0,02	925,12	924,72	8	40	2,17	8,70	0,25	0,033	24,04	1,70	3,68
35	35	36	924,78	924,18	20	0,23	0,032	924,72	924,08	8	40	1,88	8,61	0,22	0,033	23,50	1,96	3,68
36	36	37	924,18	923,92	20	0,29	0,014428	924,08	923,79	8	40	2,40	8,78	0,27	0,033	24,41	1,53	3,68
37	37	38	923,92	923,64	20	0,29	0,013711	923,79	923,52	8	40	2,44	8,79	0,28	0,033	24,47	1,51	3,68
38	38	39	923,64	923,26	20	0,29	0,01504	923,52	923,22	8	40	2,37	8,77	0,27	0,033	24,37	1,55	3,68
39	39	40	923,26	923,05	20	0,29	0,013819	923,22	922,94	8	40	2,43	8,79	0,28	0,033	24,46	1,51	3,68
40	40	41	923,05	922,86	20	0,30	0,013233	922,94	922,68	8	40	2,47	8,80	0,28	0,033	24,51	1,49	3,68
41	41	42	922,86	922,49	20	0,30	0,013274	922,68	922,41	8	40	2,46	8,80	0,28	0,033	24,51	1,49	3,68
42	42	43	922,49	922,35	20	0,30	0,01322	922,41	922,15	8	40	2,47	8,80	0,28	0,033	24,51	1,49	3,68
43	43	44	922,35	921,75	20	0,25	0,025	922,15	921,65	8	40	2,02	8,66	0,23	0,033	23,78	1,82	3,68
44	44	45	921,75	921,53	20	0,30	0,013483	921,65	921,38	8	40	2,45	8,79	0,28	0,033	24,49	1,50	3,68
45	45	46	921,53	921,51	20	0,64	0,001	921,38	921,36	8	40	5,57	9,73	0,57	0,033	27,61	0,66	3,68
46	46	47	921,51	921,48	20	0,64	0,001	921,36	921,34	8	40	5,57	9,73	0,57	0,033	27,61	0,66	3,68
47	47	48	921,48	921,32	20	0,52	0,002	921,34	921,30	8	40	4,46	9,41	0,47	0,033	26,76	0,82	3,68

Tableau 6.5 : Calculs hydrauliques du canal en terre pour une crue centennale de l'oued 5.

	Pt Amont	Pt aval	CT amont	ct aval	L M	y (m)	pente canal (m/m)	CP Am	cp av	b (m)	Θ°	Sm (m ²)	Pm (m)	Rh	cogn	c	v (m/s)	Q (m ³ /s)
1,00	1,00	2,00	920,63	920,08	20,00	0,33	0,0280	920,63	920,07	8	40	2,77	8,89	0,31	0,033	24,94	2,33	6,44
2,00	2,00	3,00	920,08	919,76	20,00	0,37	0,0200	920,07	919,67	8	40	3,07	8,99	0,34	0,033	25,34	2,10	6,44
3,00	3,00	4,00	919,76	919,30	20,00	0,37	0,0200	919,67	919,27	8	40	3,07	8,99	0,34	0,033	25,34	2,10	6,44
4,00	4,00	5,00	919,30	918,89	20,00	0,37	0,0200	919,27	918,87	8	40	3,07	8,99	0,34	0,033	25,34	2,10	6,44
5,00	5,00	6,00	918,89	918,65	20,00	0,40	0,0150	918,87	918,57	8	40	3,36	9,07	0,37	0,033	25,68	1,91	6,44
6,00	6,00	7,00	918,65	918,08	20,00	0,34	0,0250	918,57	918,07	8	40	2,87	8,92	0,32	0,033	25,08	2,25	6,44
7,00	7,00	8,00	918,08	917,28	20,00	0,30	0,0400	918,07	917,27	8	40	2,48	8,80	0,28	0,033	24,53	2,60	6,44
8,00	8,00	9,00	917,28	916,95	20,00	0,37	0,0200	917,27	916,87	8	40	3,07	8,99	0,34	0,033	25,34	2,10	6,44
9,00	9,00	10,00	916,95	916,50	20,00	0,34	0,0250	916,87	916,37	8	40	2,87	8,92	0,32	0,033	25,08	2,25	6,44
10,00	10,00	11,00	916,50	916,12	20,00	0,37	0,0200	916,37	915,97	8	40	3,07	8,99	0,34	0,033	25,34	2,10	6,44
11,00	11,00	12,00	916,12	915,12	20,00	0,28	0,0500	915,97	914,97	8	40	2,31	8,75	0,26	0,033	24,27	2,79	6,44
12,00	12,00	13,00	915,12	914,42	20,00	0,31	0,0350	914,97	914,27	8	40	2,58	8,83	0,29	0,033	24,68	2,50	6,44
13,00	13,00	14,00	914,42	914,36	20,00	0,56	0,0050	914,27	914,17	8	40	4,76	9,49	0,50	0,033	27,01	1,35	6,44
14,00	14,00	15,00	914,36	914,25	20,00	0,56	0,0050	914,17	914,07	8	40	4,76	9,49	0,50	0,033	27,01	1,35	6,44
15,00	15,00	16,00	914,25	913,40	20,00	0,30	0,0400	914,07	913,27	8	40	2,48	8,80	0,28	0,033	24,53	2,60	6,44
16,00	16,00	17,00	913,40	911,65	20,00	0,24	0,0875	913,27	911,52	8	40	1,94	8,63	0,22	0,033	23,63	3,32	6,44
17,00	17,00	18,00	911,65	910,85	20,00	0,30	0,0400	911,52	910,72	8	40	2,48	8,80	0,28	0,033	24,53	2,60	6,44
18,00	18,00	19,00	910,85	910,22	20,00	0,33	0,0300	910,72	910,12	8	40	2,71	8,87	0,31	0,033	24,86	2,38	6,44
19,00	19,00	20,00	910,22	910,12	20,00	0,56	0,0050	910,12	910,02	8	40	4,76	9,49	0,50	0,033	27,01	1,35	6,44
20,00	20,00	21,00	910,12	909,54	20,00	0,33	0,0300	910,02	909,42	8	40	2,71	8,87	0,31	0,033	24,86	2,38	6,44
21,00	21,00	22,00	909,54	909,25	20,00	0,45	0,0100	909,42	909,22	8	40	3,82	9,21	0,41	0,033	26,17	1,69	6,44
22,00	22,00	23,00	909,25	908,59	20,00	0,32	0,0320	909,22	908,58	8	40	2,65	8,86	0,30	0,033	24,79	2,43	6,44
23,00	23,00	24,00	908,59	908,35	20,00	0,37	0,0200	908,58	908,18	8	40	3,07	8,99	0,34	0,033	25,34	2,10	6,44
24,00	24,00	25,00	908,35	908,14	20,00	0,45	0,0100	908,18	907,98	8	40	3,82	9,21	0,41	0,033	26,17	1,69	6,44
25,00	25,00	26,00	908,14	907,90	20,00	0,45	0,0100	907,98	907,78	8	40	3,82	9,21	0,41	0,033	26,17	1,69	6,44
26,00	26,00	27,00	907,90	907,23	20,00	0,33	0,0300	907,78	907,18	8	40	2,71	8,87	0,31	0,033	24,86	2,38	6,44
27,00	27,00	28,00	907,23	906,88	20,00	0,39	0,0170	907,18	906,84	8	40	3,23	9,04	0,36	0,033	25,53	1,99	6,44
28,00	28,00	29,00	906,88	906,62	20,00	0,41	0,0140	906,84	906,56	8	40	3,44	9,10	0,38	0,033	25,76	1,87	6,44
29,00	29,00	30,00	906,62	906,49	20,00	0,56	0,0050	906,56	906,46	8	40	4,76	9,49	0,50	0,033	27,01	1,35	6,44
30,00	30,00	31,00	906,49	906,32	20,00	0,45	0,0100	906,46	906,26	8	40	3,82	9,21	0,41	0,033	26,17	1,69	6,44

6.3. Vérification de l'Affouillement dans le canal en terre

Vu la pente longitudinale importante (de l'ordre de l'oued possède une énergie suffisante pour entraîner et transporter les matériaux peu résistants du fond du lit. L'hétérogénéité des matériaux du fond, leur différente résistance à l'affouillement, l'influence de l'accélération peuvent entraîner des modifications du tracé du lit à la suite d'érosion des berges et de la formation des méandres.

L'interaction des forces centrifuges, la différence des hauteurs d'eau, l'influence de l'accélération sont à l'origine du mouvement circulaire d'écoulement qui, s'ajoutant au mouvement de translation se transforme en écoulement hélicoïdal.

Dans les courbures du cours d'eau, les courants de surface ont tendance à se diriger vers la rive concave et les courants du fond s'orientent vers la rive convexe. Les courants de surface animés d'un mouvement de translation descendant sapent les berges. Le produit de l'érosion se trouve entraîné par les courants du fond en direction de la rive convexe où peu à peu se déposent des bancs de sable, ce qui modifie le tracé du lit et le rend de plus en plus sinueux.

Une partie des apports solides se trouve transportée en aval. La stabilisation des processus ayant lieu dans le lit de l'oued ainsi que la régression de l'affouillement est en rapport direct avec le facteur temps.

6.3.1. Méthode de calcul de l'affouillement [12]

$$A = B + \frac{I^{0.2}}{Q^{0.5}} \dots \dots \dots (6.4)$$

Avec : -

- Q : Débit d'écoulement (m³/s)
- I : Pente longitudinale du plan d'eau (m/m)

Pour évaluer l'intensité des déformations en plan (berges), nous avons :

$$A_k = 10. \sqrt{\frac{V}{Q}} B. I^{0.2} \dots \dots \dots (6.5)$$

- V : la vitesse moyenne d'écoulement (m/s)

Afin d'évaluer l'intensité des déformations du fond et le changement de sa stabilité, on a recours au rapport ci-après.

$$L_k = 10. \sqrt{g \cdot \frac{d}{V}} \dots \dots \dots (6.6)$$

Ce rapport est le cas particulier du critère de Lokhtine où :

- d : le diamètre moyen des particules du matériau constituant le fond du lit.

Diamètre moyen de particules oued3 (mm)	0.00713
Diamètre moyen de particules oued 5 (mm)	0.00510
Valeur tirée de l'analyse granulométrique – donnée en Annexe	

Tableau 6.6 : Caractéristiques de stabilité et de déformation

Lits	Caractéristiques du transport solide et des déformations	Indice de Froude	Stabilité et déformation générale Lk	Stabilité Et déformation locale Ak
Stable	Transport en suspension	< 0,002	2,00	< 8,0
	Transports par saltation	de 0,002 à 0,02	de 0,5 à 2,0	< 8,0
Affouillement	Erosion du fond	0,02	< 0,5	8 à 12
	Erosion des berges	> 0,07	< 0,5	> 11

La profondeur d'affouillement est calculée d'après la relation 6. 7.

$$H_a = 0.365 \cdot \frac{Q^{0.784}}{B^{0.784} \cdot d^{0.157}} \dots\dots\dots (6.8)$$

La vitesse critique V_c pour chaque section peut s'exprimer en fonction de la profondeur d'eau h et du diamètre des matériaux constituant le fond par :

$$V_c = 3.62 \cdot d^{0.2} \cdot h^{0.275} \dots\dots\dots (6.9)$$

Il est à noter que ces formules donnent des résultats légèrement majorés.

La procédure de vérification de l'affouillement est donnée dans l'organigramme de la figure

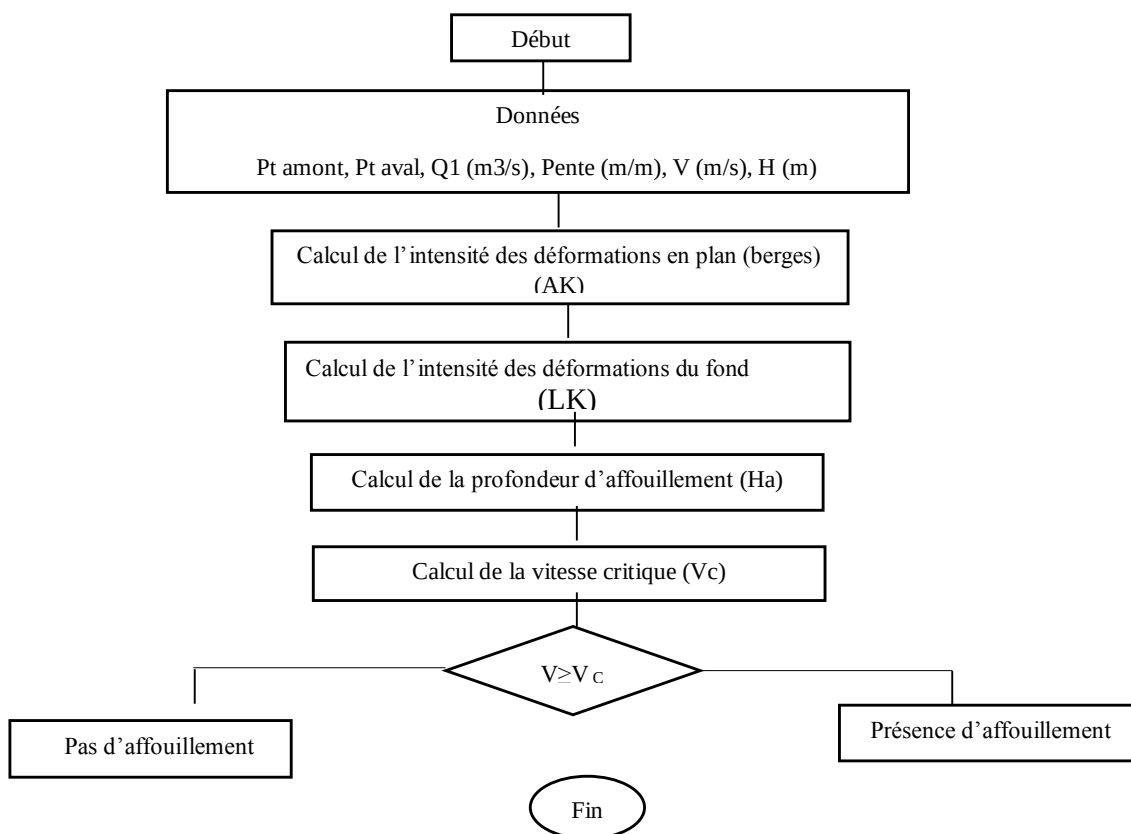


Figure 6.6 : organigramme du calcul d'affouillement

6.3.2. Résultats et interprétation

Les résultats de calcul des affouillements obtenus dans les tronçons 3 et 5 pour une crue centennale et débit respectifs $3.68 \text{ m}^3/\text{s}$ et $6.44 \text{ m}^3/\text{s}$ sont présentés dans les tableaux 6.6 et 6.7. Nous remarquons que la vitesse moyenne au niveau de chaque section est supérieure à la vitesse critique ; ce qui crée des conditions favorables aux affouillements locaux. Il ressort également que la hauteur d'affouillement H_a atteint 1.20 m (hauteurs maximales) dans le tronçon 3 et 1.15 m (hauteurs maximales) dans le tronçon 5 ; hauteurs considérables. Ce qui nous amène à éliminer la variante 1 et garder la variante 3, autrement dit un canal en forme trapézoïdale couvert par un matelas Reno.

Tableau 6.7 : Calcul de l'affouillement pour une crue pour l'oued 3.

Pt Amont	Pt Aval	Q (m ³ /s)	Pente (m/m)	v (m/s)	H(m)	AK	LK	Ha	Vc (m/s)	Test
1,00	2,00	3,68	0,05	2,28	0,20	7,87	1,75	0,86	0,43	présence d'affouillement
2,00	3,00	3,68	0,04	2,02	0,22	7,40	1,86	0,89	0,43	présence d'affouillement
3,00	4,00	3,68	0,04	2,10	0,21	7,56	1,82	0,88	0,43	présence d'affouillement
4,00	5,00	3,68	0,02	1,70	0,26	6,79	2,03	0,93	0,43	présence d'affouillement
5,00	6,00	3,68	0,02	1,70	0,26	6,79	2,03	0,93	0,43	présence d'affouillement
6,00	7,00	3,68	0,03	1,92	0,23	7,23	1,91	0,90	0,43	présence d'affouillement
7,00	8,00	3,68	0,02	1,64	0,27	6,68	2,06	0,94	0,43	présence d'affouillement
8,00	9,00	3,68	0,02	1,70	0,26	6,79	2,03	0,93	0,43	présence d'affouillement
9,00	10,00	3,68	0,03	1,82	0,25	7,03	1,96	0,92	0,43	présence d'affouillement
10,00	11,00	3,68	0,01	1,50	0,30	6,39	2,16	0,96	0,43	présence d'affouillement
11,00	12,00	3,68	0,03	1,92	0,23	7,23	1,91	0,90	0,43	présence d'affouillement
12,00	13,00	3,68	0,04	2,02	0,22	7,40	1,86	0,89	0,43	présence d'affouillement
13,00	14,00	3,68	0,05	2,18	0,21	7,70	1,79	0,87	0,43	présence d'affouillement
14,00	15,00	3,68	0,04	2,02	0,22	7,40	1,86	0,89	0,43	présence d'affouillement
15,00	16,00	3,68	0,01	1,10	0,40	5,47	2,52	1,05	0,43	présence d'affouillement
16,00	17,00	3,68	0,01	1,37	0,32	6,10	2,26	0,99	0,43	présence d'affouillement
17,00	18,00	3,68	0,01	1,49	0,30	6,36	2,17	0,97	0,43	présence d'affouillement
18,00	19,00	3,68	0,01	1,48	0,30	6,35	2,17	0,97	0,43	présence d'affouillement
19,00	20,00	3,68	0,01	1,47	0,30	6,32	2,18	0,97	0,43	présence d'affouillement
20,00	21,00	3,68	0,01	1,37	0,32	6,10	2,26	0,99	0,43	présence d'affouillement
21,00	22,00	3,68	0,02	1,55	0,29	6,49	2,12	0,95	0,43	présence d'affouillement
22,00	23,00	3,68	0,01	1,52	0,29	6,43	2,14	0,96	0,43	présence d'affouillement
23,00	24,00	3,68	0,02	1,70	0,26	6,79	2,03	0,93	0,43	présence d'affouillement
24,00	25,00	3,68	0,01	1,53	0,29	6,45	2,14	0,96	0,43	présence d'affouillement
25,00	26,00	3,68	0,04	2,10	0,21	7,56	1,82	0,88	0,43	présence d'affouillement
26,00	27,00	3,68	0,04	2,10	0,21	7,56	1,82	0,88	0,43	présence d'affouillement
27,00	28,00	3,68	0,02	1,64	0,27	6,68	2,06	0,94	0,43	présence d'affouillement
28,00	29,00	3,68	0,04	2,05	0,22	7,47	1,85	0,89	0,43	présence d'affouillement
29,00	30,00	3,68	0,07	2,44	0,18	8,14	1,69	0,85	0,43	présence d'affouillement
30,00	31,00	3,68	0,02	1,65	0,27	6,69	2,06	0,94	0,43	présence d'affouillement
31,00	32,00	3,68	0,01	1,49	0,30	6,36	2,17	0,97	0,43	présence d'affouillement
32,00	33,00	3,68	0,03	1,96	0,23	7,30	1,89	0,90	0,43	présence d'affouillement
33,00	34,00	3,68	0,03	2,00	0,22	7,37	1,87	0,89	0,43	présence d'affouillement
34,00	35,00	3,68	0,02	1,70	0,26	6,79	2,03	0,93	0,43	présence d'affouillement
35,00	36,00	3,68	0,03	1,96	0,23	7,30	1,89	0,90	0,43	présence d'affouillement
36,00	37,00	3,68	0,01	1,53	0,29	6,46	2,14	0,96	0,43	présence d'affouillement
37,00	38,00	3,68	0,01	1,51	0,29	6,40	2,15	0,96	0,43	présence d'affouillement
38,00	39,00	3,68	0,02	1,55	0,29	6,50	2,12	0,95	0,43	présence d'affouillement
39,00	40,00	3,68	0,01	1,51	0,29	6,41	2,15	0,96	0,43	présence d'affouillement
40,00	41,00	3,68	0,01	1,49	0,30	6,37	2,16	0,96	0,43	présence d'affouillement
41,00	42,00	3,68	0,01	1,49	0,30	6,37	2,16	0,96	0,43	présence d'affouillement
42,00	43,00	3,68	0,01	1,49	0,30	6,37	2,16	0,96	0,43	présence d'affouillement
43,00	44,00	3,68	0,03	1,82	0,25	7,03	1,96	0,92	0,43	présence d'affouillement
44,00	45,00	3,68	0,01	1,50	0,30	6,39	2,16	0,96	0,43	présence d'affouillement
45,00	46,00	3,68	0,00	0,66	0,64	4,24	3,25	1,19	0,43	présence d'affouillement
46,00	47,00	3,68	0,00	0,66	0,64	4,24	3,25	1,19	0,43	présence d'affouillement
47,00	48,00	3,68	0,00	0,82	0,52	4,73	2,91	1,13	0,43	présence d'affouillement

Tableau 6.8 : Calcul de l'affouillement pour une crue pour l'oued 5.

pt Aval	pt Aval	Q (m ³ /s)	Pente (m/m)	v (m/s)	H(m)	AK	LK	Ha	Vc	Test
1	1	6,44	0,0280	2,33	0,33	6,01	1,47	0,71	0,93	présence d'affouillement
2	2	6,44	0,0200	2,10	0,37	5,70	1,55	0,71	0,96	présence d'affouillement
3	3	6,44	0,0200	2,10	0,37	5,70	1,55	0,71	0,96	présence d'affouillement
4	4	6,44	0,0200	2,10	0,37	5,70	1,55	0,71	0,96	présence d'affouillement
5	5	6,44	0,0150	1,91	0,40	5,45	1,62	0,71	0,98	présence d'affouillement
6	6	6,44	0,0250	2,25	0,34	5,91	1,49	0,71	0,94	présence d'affouillement
7	7	6,44	0,0400	2,60	0,30	6,36	1,39	0,71	0,90	présence d'affouillement
8	8	6,44	0,0200	2,10	0,37	5,70	1,55	0,71	0,96	présence d'affouillement
9	9	6,44	0,0250	2,25	0,34	5,91	1,49	0,71	0,94	présence d'affouillement
10	10	6,44	0,0200	2,10	0,37	5,70	1,55	0,71	0,96	présence d'affouillement
11	11	6,44	0,0500	2,79	0,28	6,58	1,34	0,71	0,89	présence d'affouillement
12	12	6,44	0,0350	2,50	0,31	6,23	1,42	0,71	0,91	présence d'affouillement
13	13	6,44	0,0050	1,35	0,56	4,58	1,92	0,71	1,07	présence d'affouillement
14	14	6,44	0,0050	1,35	0,56	4,58	1,92	0,71	1,07	présence d'affouillement
15	15	6,44	0,0400	2,60	0,30	6,36	1,39	0,71	0,90	présence d'affouillement
16	16	6,44	0,0875	3,32	0,24	7,18	1,23	0,71	0,85	présence d'affouillement
17	17	6,44	0,0400	2,60	0,30	6,36	1,39	0,71	0,90	présence d'affouillement
18	18	6,44	0,0300	2,38	0,33	6,08	1,45	0,71	0,92	présence d'affouillement
19	19	6,44	0,0050	1,35	0,56	4,58	1,92	0,71	1,07	présence d'affouillement
20	20	6,44	0,0300	2,38	0,33	6,08	1,45	0,71	0,92	présence d'affouillement
21	21	6,44	0,0100	1,69	0,45	5,12	1,72	0,71	1,01	présence d'affouillement
22	22	6,44	0,0320	2,43	0,32	6,14	1,44	0,71	0,92	présence d'affouillement
23	23	6,44	0,0200	2,10	0,37	5,70	1,55	0,71	0,96	présence d'affouillement
24	24	6,44	0,0100	1,69	0,45	5,12	1,72	0,71	1,01	présence d'affouillement
25	25	6,44	0,0100	1,69	0,45	5,12	1,72	0,71	1,01	présence d'affouillement
26	26	6,44	0,0300	2,38	0,33	6,08	1,45	0,71	0,92	présence d'affouillement
27	27	6,44	0,0170	1,99	0,39	5,56	1,58	0,71	0,97	présence d'affouillement
28	28	6,44	0,0140	1,87	0,41	5,39	1,63	0,71	0,98	présence d'affouillement
29	29	6,44	0,0050	1,35	0,56	4,58	1,92	0,71	1,07	présence d'affouillement
30	30	6,44	0,0100	1,69	0,45	5,12	1,72	0,71	1,01	présence d'affouillement

6.4. Dimensionnement des revêtements en matelas Reno [12]

Le dimensionnement d'un revêtement en enrochement ou en matelas Reno consiste à la vérification de la stabilité du fond du canal, et des berges, en passant par les différents termes de vitesses, tension d'entraînement, effet de déformation, et enfin par la stabilité du fond du canal et le sol.

6.4.1. Vérification en termes de vitesse

On évalue habituellement la stabilité du revêtement (enrochement ou matelas Reno) en se basant sur la vitesse moyenne d'écoulement V du courant dans la section courante.

En effet la vitesse et la profondeur de l'eau dans le canal sont liées entre elles et à la tension tangentielle par :

$$\mathcal{T}_b = \gamma_w \cdot n^2 \cdot \frac{V^2}{Rh^{1/3}} \dots \dots \dots (6.10)$$

Cette dernière équation peut encore s'écrire en exprimant la valeur de l'inclinaison du canal à partir de la formule de Manning comme suit :

$$\mathcal{T}_b = \gamma_w \cdot Rh \cdot I \dots \dots \dots (6.11)$$

La figure 6.7 compare la résistance à la vitesse V_c d'un revêtement en fonction du nombre de Froude de l'écoulement et des dimensions des pierres de remplissage.

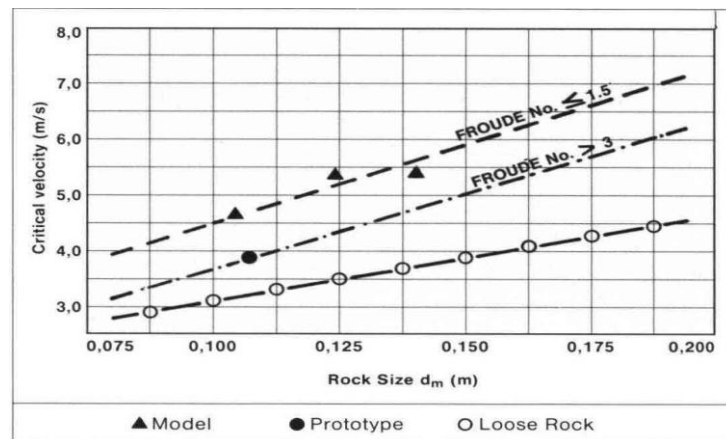


Figure 6.7 : Vitesse critique en fonction du nombre de Froude de l'écoulement et des dimensions des pierres de remplissage

La comparaison avec un revêtement en rip-rap montre qu'à dimensions égales de la pierre, la résistance à la vitesse du matelas Reno est de loin supérieure à celle du matériau en vrac. A vitesses égales, la taille de la pierre stable pour un revêtement en matelas Reno est de loin inférieure à celle du matériau en vrac.

Ce qui explique la valeur deux fois plus élevée du coefficient de Shields pour les matelas Reno, par rapport à l'enrochement (rip-rap).

La figure 6.8 montre la résistance à la vitesse des matelas Reno soumis aux essais, en fonction de l'épaisseur du revêtement utilisé.

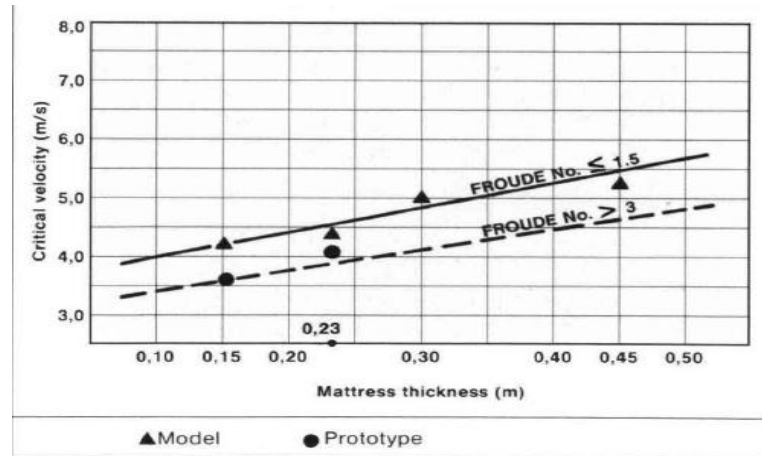


Figure 6.8 : Vitesse critique qui initie le mouvement de roche en fonction de Reno épaisseur du matelas.

6.4.2. Vérifications en termes de tension d'entraînement

6.4.2.1. Fond du canal

Lorsque la pierre ne se déplace pas, on dit que le revêtement est stable ; qu'il s'agisse d'un revêtement en matelas Reno et en gabions avec grillage métallique ou d'enrochement (rip-rap).

Le premier mouvement de ces éléments correspond à la limite de stabilité de revêtement. La tension tangentielle qui s'exerce sur le revêtement est :

$$\mathcal{T}_b = \gamma_w \cdot y \cdot I \dots \dots \dots (6.13)$$

Avec :

- γ_w : poids spécifique de l'eau,
- y : profondeur de l'eau,
- I : pente du canal.

Considérons un caillou d'un diamètre égal au diamètre moyen d_m de la pierre du fond (c'est-à-dire le diamètre permettant le passage de 50% de la pierre qui constitue le revêtement) ; le coefficient de Shields sera représenté par la valeur adimensionnelle donné par la relation suivante :

$$C_* = \frac{\mathcal{T}_c}{(\gamma_s - \gamma_w) \cdot d_m} \dots \dots \dots (6.14)$$

Avec :

- τ_c : représente la tension tangentielle d'entraînement lors de la situation critique du premier mouvement
- γ_s : poids spécifique du matériau inerte.

Le coefficient de Shields pour l'enrochement (rip-rap) est d'environ 0,047, pour la pierre emprisonnée par grillage métallique (matelas Reno et gabions) le coefficient est de :

$$C_* = 0.10 \dots \dots \dots (6.15)$$

Dans notre cas, le revêtement en matelas Reno aura une épaisseur de 0,40 m, avec maille type (5x7), diamètre du fil : 2,00 mm, et dimensions des pierres de remplissage 100-280 mm, avec $d_{50}=0,18m$. $\gamma_s = 2500 \text{ kg/m}^3$.

Le dénominateur est proportionnel à la tension normale que le poids du caillou exerce sur le fond. Le coefficient de Shields est donc analogue à un coefficient de frottement.

La valeur de la tension tangentielle au fond, qui peut se vérifier sans mouvement de la pierre (tension tangentielle critique) est :

$$\mathcal{T}_c = C_*. (\gamma_s - \gamma_w) d_m \dots \dots \dots (6.16)$$

On admet par contrôle de déformations que le fond du canal est stable, si et seulement si l'inégalité suivant est vérifiée :

$$\mathcal{T}_b \leq 1,2. \mathcal{T}_c \dots \dots \dots (6.17)$$

6.4.2.2. Les berges

Donc, grâce à l'emprisonnement par grillage métallique, la pierre de remplissage des matelas Reno et des gabions, à dimensions égales, résiste à une tension tangentielle plus que double par rapport au rip-rap (enrochement).

Les équations précédentes concernant la tension tangentielle τ_b et la tension tangentielle critique τ_c concernant le revêtement du fond du canal, pour le revêtement des berges d'un canal à section trapézoïdale, restent valables.

La tension tangentielle est donnée par la relation suivante :

$$\mathcal{T}_m = 0.75. \gamma_w. y. I \dots \dots \dots (6.18)$$

Et la tension tangentielle critique au niveau des berges est donnée par la relation :

$$\tau_s = \tau_c \sqrt{1 - \frac{(\sin \theta)^2}{(\sin \varphi)^2}} \dots \dots \dots (6.19)$$

Avec :

- θ représente l'inclinaison de la berge
- φ l'angle de frottement interne de la pierre qui constitue le revêtement pour les matelas Reno.

On accepte : $\mathcal{T}_m \leq \mathcal{T}_s \dots \dots \dots (6.20)$

On admet par contrôle de déformations que les berges du canal est stable, si et seulement si l'inégalité suivant est vérifiée :

$$\tau_m \leq 1,2. \tau_s \dots \dots \dots (6.21)$$

6.4.3. Estimation des effets de déformation

Lorsque la contrainte de cisaillement atteint la valeur critique de la condition de « mouvement initial », une partie de la pierre de remplissage se déplace en aval du compartiment du matelas Reno Figure 6.9.

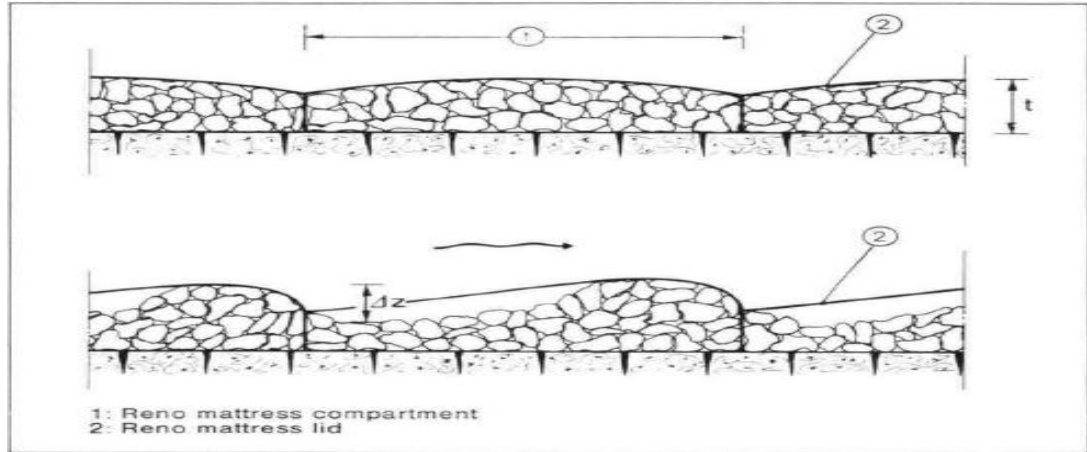


Figure 6.9 : Schéma du mouvement des pierres dans les poches

Si les contraintes de cisaillement augmentent de nouveau, l'une des deux choses peut se produire :

- soit le revêtement perdra de son efficacité (si le sol de base sous le matelas Reno est exposé).
- ou soit un nouvel équilibre sera atteint dans lequel la force du treillis métallique en acier permet de remplir sa fonction de confinement.

Le degré de protection offert par le matelas Reno au sol de base sous-jacent reste inchangé même après cette déformation (fournissant les matériaux de base non exposés) puisque la vitesse de l'eau sous le matelas Reno ne change pas de façon significative.

Pour évaluer le degré de déformation, le paramètre $\frac{\Delta z}{d_m}$ est utilisé

Où :

Δz : est la différence de hauteur entre la surface de la roche maximale et minimale dans un compartiment de matelas.

Il peut être défini comme «paramètre de Shields efficace»

$$C'_* = \frac{\tau_b - \tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w) \cdot d_m} \dots\dots\dots (6.22)$$

Avec une augmentation de la résistance d'emprisonnement du grillage métallique. La vitesse de l'eau sous le matelas restant inchangée, le degré de protection du fond sous-jacent ne varie pas, même après déformation, si, bien entendu, le fond n'est pas ouvert. La protection est efficace si :

$$t - \Delta t \geq d_m \dots\dots\dots (6.23)$$

Avec :

- t : désigne l'épaisseur du matelas Reno non déformé
- Δt : la diminution maximale de l'épaisseur de remplissage.

Les essais montrent que :

$$\Delta t \leq \frac{\Delta z}{2} \dots\dots\dots (6.24)$$

- Δz désigne la distance verticale entre le point le plus haut et le point le plus bas de la surface recouverte par la pierraille.

L'équation précédente devient :

$$\frac{\Delta z}{d_m} \leq 2 \cdot \left(\frac{t}{d_m} - 1 \right) \dots\dots\dots (6.25)$$

Pour le contrôle de l'effet de déformation, le revêtement est dit stable si :

$$t - d_m \geq \frac{\Delta z}{2} \dots\dots\dots (6.26)$$

La même procédure d'évaluation de l'acceptabilité des déformations est suivie également pour le matelas Reno sur les berges.

La figure 8 montre que le paramètre $\frac{\Delta z}{d_m}$ reste inférieur à 1.6 équivalent à $t = 1.8d_m$, un matelas Reno d'une épaisseur de 1.8 à 2 fois d_m peut supporter des conditions hydrauliques difficiles, sans que le fond ne se découvre. D'où nous adopterons comme règle de dimensionnement des matelas Reno, des épaisseurs au moins égales de 1.8 à 2 fois d_m , avec ainsi de bonnes marges de résistance.

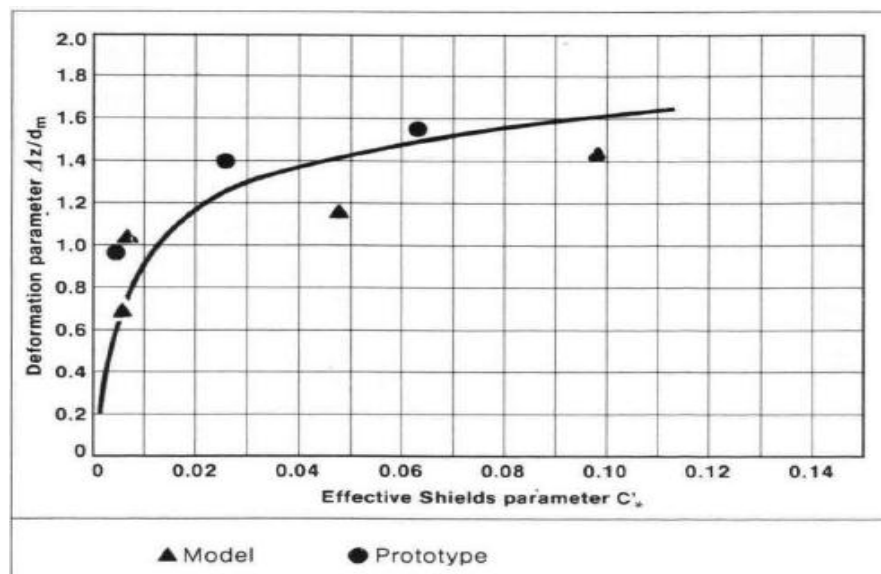


Figure 6.10 : Rapport entre le paramètre de déformation et le coefficient d'efficacité de shields.

La courbe de la figure 8 obéit à l'équation de tendance suivante :

$$\frac{\Delta z}{d_m} = 0,306 \cdot \ln(C_*) + 2,328 \dots \dots \dots (6.27)$$

6.4.4. Vérification vis à vis de l'érosion du matériau de base

L'épaisseur du revêtement et la dimension de la pierre doivent permettre aux revêtements en matelas Reno, de résister aux mouvements du courant et d'éviter l'érosion du matériau de base. Il faut donc que la vitesse de l'eau entre la couche de la pierre et le sol de base soit minimum afin d'éviter tout mouvement des particules qui composent le terrain.

On peut déterminer la vitesse sous le matelas Reno (à l'interface avec le fond sous-jacent et le filtre), en utilisant la formule de Manning :

$$V_b = \frac{1}{\eta_\xi} \cdot \left(\frac{d_m}{2} \right)^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots \dots \dots (6.28)$$

Où :

- V_b : représente la vitesse à l'interface du matelas Reno et le sol de base (ou filtre).
- η_ξ : le coefficient de rugosité du fond, qui prend la valeur de $\eta_\xi = 0,02$, s'il y a un filtre en géotextile sous le matelas ou s'il n'y en a pas, par contre, on aura $\eta_\xi = 0,025$ si le filtre est en gravier,

Il faudra comparer la vitesse V_b et la vitesse V_e (vitesse acceptable à l'interface avec le matériau de base).

La vitesse d'érosion V_e est la vitesse que le sol peut supporter sans subir d'érosion, on peut obtenir sa valeur de la figure 9 pour les terrains cohérents, et on a pour les terrains non cohérents.

$$V_e = 16,10 \cdot (d_{50})^{1/2} \dots \dots \dots (6.29)$$

Où :

- V_e est exprimée en m/s
- d_{50} est exprimé en (m) et représente la dimension des particules du sol auxquelles on veut éviter l'érosion.

L'utilisation d'un filtre géotextile implique une réduction de la vitesse de l'eau qui le traverse de haut en bas, à l'interface avec le sol, sa valeur est 1/4 à 1/2 de la valeur de V_b donnée par l'équation (26), même si le filtre est colmaté).

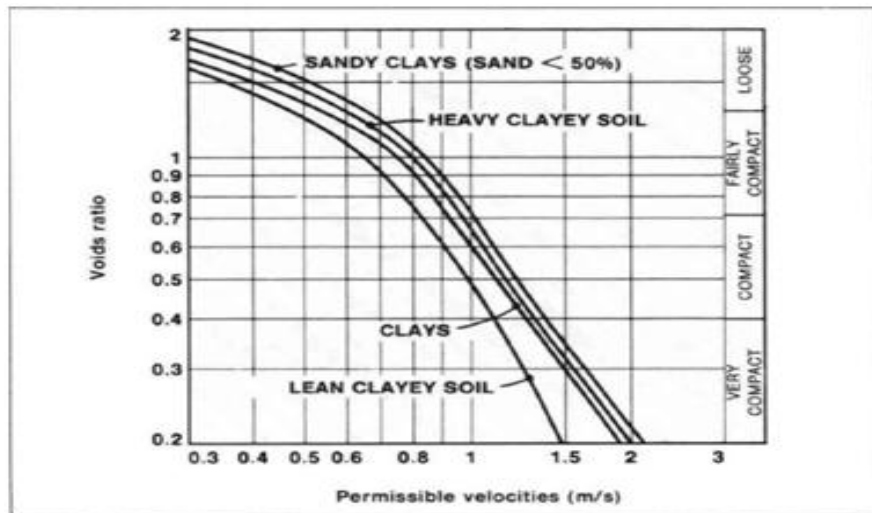


Figure 6.11 : Valeurs des vitesses admissibles maximum pour terrains cohérents

Les vérifications de stabilité effectuées dans cette étude, de l'oued N°5 revêtu en matelas Reno, sont :

- Vérification en termes de vitesses,
- Tension dans le fond,
- Tension dans les berges,
- Effet de la déformation,
- Vérification de l'érosion du matériau de base.

La procédure de vérification est présentée dans l'organigramme qui suit. Les résultats du calcul hydraulique du matelas Reno sont présentés dans les tableaux 6.3 et 6.4 pour les deux tronçons 3 et 5.

6.5. Interprétation des résultats [12]

Après vérification, nous constatons que les différents tests s'avèrent stables hormis le test vérification de l'érosion du matériau de base de vitesse.

Etant donné que la vitesse de l'eau à l'interface avec le matériau de base est supérieure à la vitesse compatible avec le terrain, même en utilisant un filtre géotextile, il faudra prévoir dans ce cas un filtre en gravier d'une épaisseur d'au moins 15 à 20 cm et de toute façon supérieure à la valeur suivante :

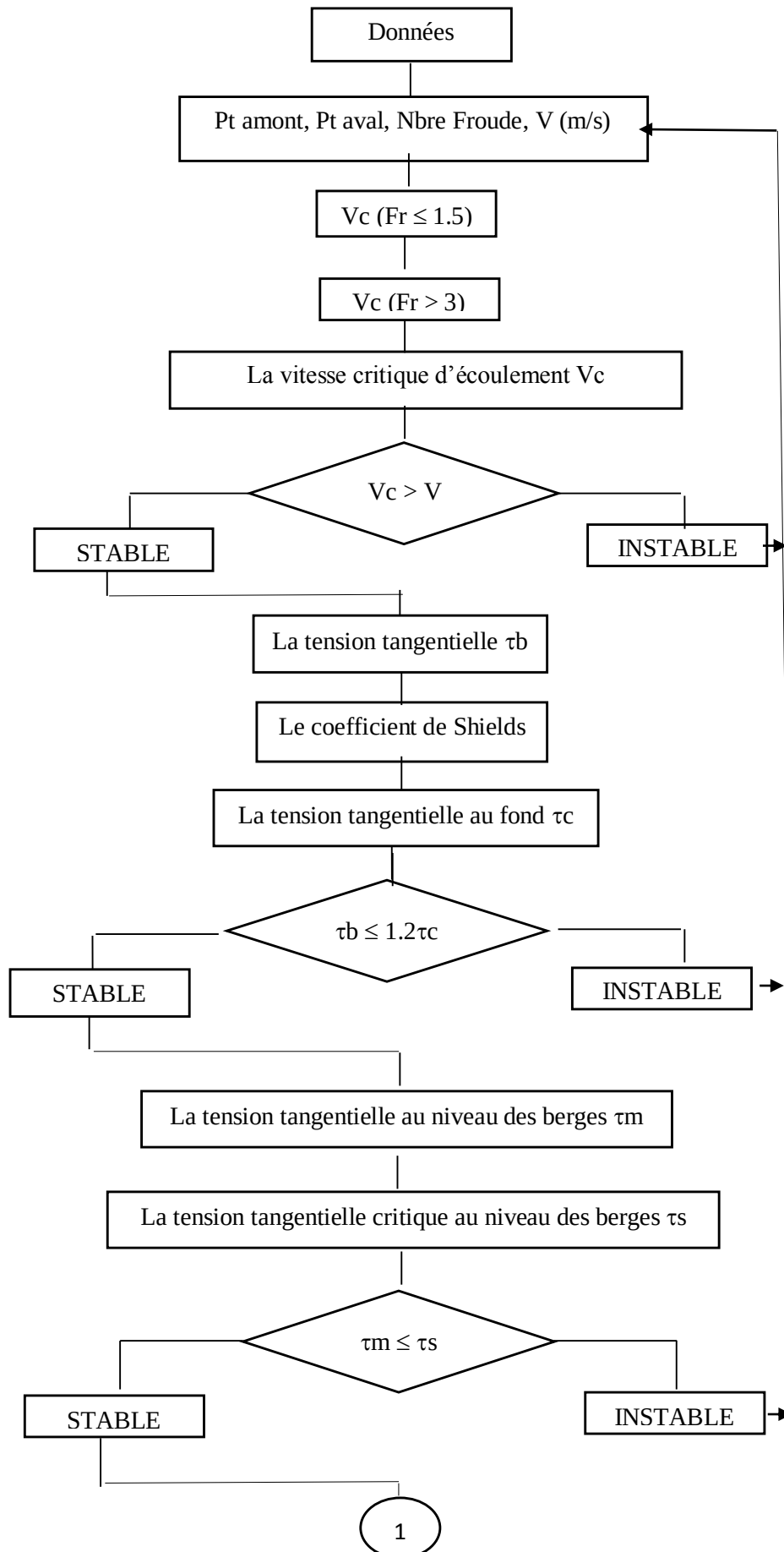
$$s = \frac{dv}{f} \cdot \left[1 - \left(\frac{Ve}{Vb} \right)^2 \right]$$

- f : le coefficient de Darcy-Weisbach (pris égale à 0.05).
- dv : diamètre équivalent des interstices, pris égale au cinquième diamètre moyen du gravier du filtre.

$$dv = \frac{dm}{5}$$

On détermine la granulométrie du filtre grâce aux inégalités :

$$\frac{d_{50}^{(filtre)}}{d_{50}^{(sol)}} \leq 40; \quad 5 \leq \frac{d_{15}^{(sol)}}{d_{15}^{(filtre)}} \leq 40; \quad \frac{d_{15}^{(filtre)}}{d_{15}^{(sol)}} \leq 5$$



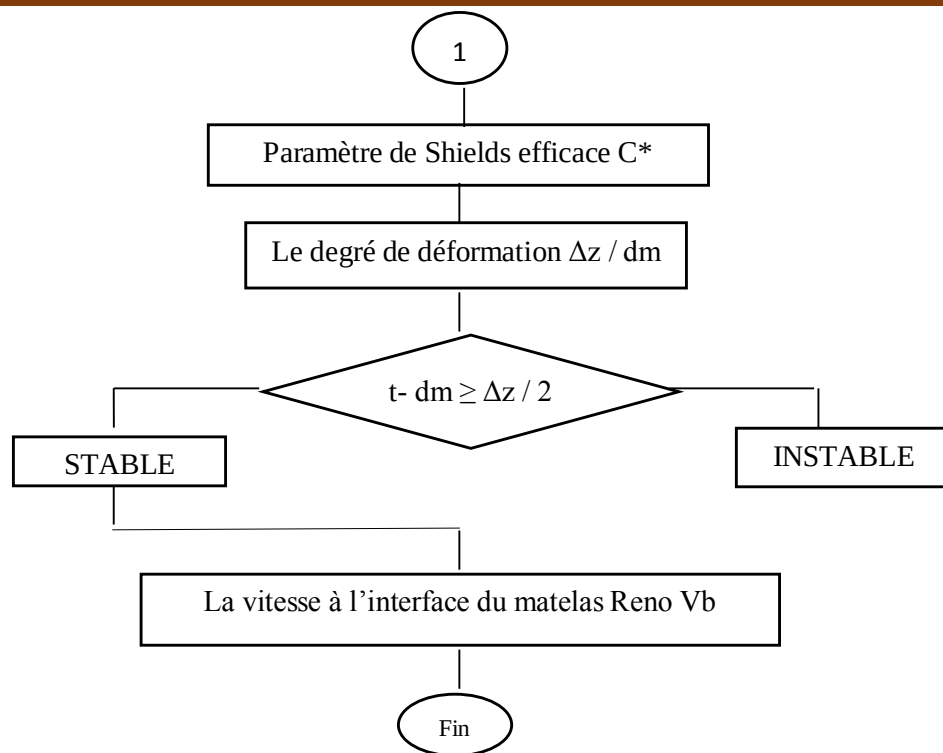


Figure 6.12 : organigramme du calcul de revêtement en matelas Reno

Tableau 6.9 : Calculs hydrauliques du canal en matelas Reno pour une crue centennale du tronçon 3.

Tronçon	Pt Amont	Pt aval	CT amont	CT aval	L M	y (m)	pente canal (m/m)	CP Am	Cp av	b (m)	Θ°	Sm (m ²)	pm (m)	Rh	Coef η	C	v (m/s)	Q (m ³ /s)
1	1	2	941,98	940,98	20	0,21	0,052	941,98	940,94	8	40	1,72	8,56	0,20	0,0364	21,02	2,15	3,68
2	2	3	940,98	940,28	20	0,24	0,035	940,94	940,24	8	40	1,94	8,63	0,22	0,0364	21,42	1,90	3,68
3	3	4	940,28	939,46	20	0,23	0,04	940,24	939,44	8	40	1,86	8,61	0,22	0,0364	21,28	1,98	3,68
4	4	5	939,46	939,1	20	0,28	0,02	939,44	939,04	8	40	2,30	8,75	0,26	0,0364	22,00	1,60	3,68
5	5	6	939,1	938,65	20	0,28	0,02	939,04	938,64	8	40	2,30	8,75	0,26	0,0364	22,00	1,60	3,68
6	6	7	938,65	938,07	20	0,25	0,03	938,64	938,04	8	40	2,03	8,66	0,23	0,0364	21,58	1,81	3,68
7	7	8	938,07	937,76	20	0,29	0,018	938,04	937,68	8	40	2,38	8,77	0,27	0,0364	22,11	1,55	3,68
8	8	9	937,76	937,32	20	0,28	0,02	937,68	937,28	8	40	2,30	8,75	0,26	0,0364	22,00	1,60	3,68
9	9	10	937,32	936,84	20	0,26	0,025	937,28	936,78	8	40	2,15	8,70	0,25	0,0364	21,76	1,71	3,68
10	10	11	936,84	936,59	20	0,31	0,01348	936,78	936,51	8	40	2,60	8,84	0,29	0,0364	22,41	1,41	3,68
11	11	12	936,59	935,93	20	0,25	0,03	936,51	935,91	8	40	2,03	8,66	0,23	0,0364	21,58	1,81	3,68
12	12	13	935,93	935,23	20	0,24	0,035	935,91	935,21	8	40	1,94	8,63	0,22	0,0364	21,42	1,90	3,68
13	13	14	935,23	934,39	20	0,22	0,045	935,21	934,31	8	40	1,79	8,59	0,21	0,0364	21,16	2,05	3,68
14	14	15	934,39	933,74	20	0,24	0,035	934,31	933,61	8	40	1,94	8,63	0,22	0,0364	21,42	1,90	3,68
15	15	16	933,74	933,66	20	0,42	0,005	933,61	933,51	8	40	3,55	9,13	0,39	0,0364	23,47	1,04	3,68
16	16	17	933,66	933,5	20	0,34	0,01	933,51	933,31	8	40	2,86	8,92	0,32	0,0364	22,73	1,29	3,68
17	17	18	933,5	933,08	20	0,32	0,01308	933,31	933,05	8	40	2,63	8,85	0,30	0,0364	22,44	1,40	3,68
18	18	19	933,08	932,93	20	0,32	0,01291	933,05	932,79	8	40	2,64	8,85	0,30	0,0364	22,46	1,39	3,68
19	19	20	932,93	932,71	20	0,32	0,01263	932,79	932,54	8	40	2,66	8,86	0,30	0,0364	22,48	1,38	3,68
20	20	21	932,71	932,49	20	0,34	0,01	932,54	932,34	8	40	2,86	8,92	0,32	0,0364	22,73	1,29	3,68
21	21	22	932,49	932,06	20	0,30	0,015	932,34	932,04	8	40	2,52	8,81	0,29	0,0364	22,30	1,46	3,68
22	22	23	932,06	931,91	20	0,31	0,01410	932,04	931,76	8	40	2,57	8,83	0,29	0,0364	22,36	1,43	3,68
23	23	24	931,91	931,44	20	0,28	0,02	931,76	931,36	8	40	2,30	8,75	0,26	0,0364	22,00	1,60	3,68
24	24	25	931,44	931,23	20	0,31	0,01440	931,36	931,07	8	40	2,55	8,82	0,29	0,0364	22,34	1,44	3,68
25	25	26	931,23	930,45	20	0,23	0,04	931,07	930,27	8	40	1,86	8,61	0,22	0,0364	21,28	1,98	3,68
26	26	27	930,45	929,53	20	0,23	0,04	930,27	929,47	8	40	1,86	8,61	0,22	0,0364	21,28	1,98	3,68
27	27	28	929,53	929,12	20	0,29	0,018	929,47	929,11	8	40	2,38	8,77	0,27	0,0364	22,11	1,55	3,68

28	28	29	929,12	928,4	20	0,23	0,037	929,11	928,37	8	40	1,91	8,62	0,22	0,0364	21,36	1,93	3,68
29	29	30	928,4	927,13	20	0,20	0,065	928,37	927,07	8	40	1,60	8,52	0,19	0,0364	20,79	2,30	3,68
30	30	31	927,13	926,75	20	0,29	0,01818	927,07	926,70	8	40	2,37	8,77	0,27	0,0364	22,10	1,55	3,68
31	31	32	926,75	926,53	20	0,32	0,01312	926,70	926,44	8	40	2,63	8,85	0,30	0,0364	22,44	1,40	3,68
32	32	33	926,53	925,82	20	0,24	0,032	926,44	925,80	8	40	1,99	8,65	0,23	0,0364	21,51	1,85	3,68
33	33	34	925,82	925,16	20	0,24	0,034	925,80	925,12	8	40	1,96	8,64	0,23	0,0364	21,45	1,88	3,68
34	34	35	925,16	924,78	20	0,28	0,02	925,12	924,72	8	40	2,30	8,75	0,26	0,0364	22,00	1,60	3,68
35	35	36	924,78	924,18	20	0,24	0,032	924,72	924,08	8	40	1,99	8,65	0,23	0,0364	21,51	1,85	3,68
36	36	37	924,18	923,92	20	0,31	0,01442	924,08	923,79	8	40	2,55	8,82	0,29	0,0364	22,34	1,44	3,68
37	37	38	923,92	923,64	20	0,31	0,01371	923,79	923,52	8	40	2,59	8,84	0,29	0,0364	22,39	1,42	3,68
38	38	39	923,64	923,26	20	0,30	0,01504	923,52	923,22	8	40	2,52	8,81	0,29	0,0364	22,30	1,46	3,68
39	39	40	923,26	923,05	20	0,31	0,01381	923,22	922,94	8	40	2,59	8,83	0,29	0,0364	22,38	1,42	3,68
40	40	41	923,05	922,86	20	0,32	0,01323	922,94	922,68	8	40	2,62	8,85	0,30	0,0364	22,43	1,40	3,68
41	41	42	922,86	922,49	20	0,31	0,01327	922,68	922,41	8	40	2,62	8,85	0,30	0,0364	22,43	1,41	3,68
42	42	43	922,49	922,35	20	0,32	0,01322	922,41	922,15	8	40	2,62	8,85	0,30	0,0364	22,43	1,40	3,68
43	43	44	922,35	921,75	20	0,26	0,025	922,15	921,65	8	40	2,15	8,70	0,25	0,0364	21,76	1,71	3,68
44	44	45	921,75	921,53	20	0,31	0,01348	921,65	921,38	8	40	2,61	8,84	0,29	0,0364	22,41	1,41	3,68
45	45	46	921,53	921,51	20	0,68	0,001	921,38	921,36	8	40	5,93	9,83	0,60	0,0364	25,25	0,62	3,68
46	46	47	921,51	921,48	20	0,68	0,001	921,36	921,34	8	40	5,93	9,83	0,60	0,0364	25,25	0,62	3,68
47	47	48	921,48	0	20	0,56	0,002	921,34	921,30	8	40	4,75	9,49	0,50	0,0364	24,48	0,77	3,68

Tableau 6.10 : Calculs hydrauliques du canal en matelas Reno pour une crue centennale du tronçon 5.

Tronçon	Pt Amont	Pt aval	CT amont	ct aval	L M	y (m)	pente canal (m/m)	CP Am	CP av	b (m)	Θ°	Sm (m ²)	Pm (m)	Rh	cogn	c	v (m/s)	Q (m ³ /s)
1,00	1,00	2,00	920,63	920,08	20,00	0,35	0,0280	920,63	920,07	8	40	2,94	8,95	0,33	0,0364	22,82	2,19	6,44
2,00	2,00	3,00	920,08	919,76	20,00	0,39	0,0200	920,07	919,67	8	40	3,27	9,05	0,36	0,0364	23,18	1,97	6,44
3,00	3,00	4,00	919,76	919,30	20,00	0,39	0,0200	919,67	919,27	8	40	3,27	9,05	0,36	0,0364	23,18	1,97	6,44
4,00	4,00	5,00	919,30	918,89	20,00	0,39	0,0200	919,27	918,87	8	40	3,27	9,05	0,36	0,0364	23,18	1,97	6,44
5,00	5,00	6,00	918,89	918,65	20,00	0,42	0,0150	918,87	918,57	8	40	3,58	9,14	0,39	0,0364	23,50	1,80	6,44
6,00	6,00	7,00	918,65	918,08	20,00	0,36	0,0250	918,57	918,07	8	40	3,05	8,98	0,34	0,0364	22,94	2,11	6,44
7,00	7,00	8,00	918,08	917,28	20,00	0,32	0,0400	918,07	917,27	8	40	2,63	8,85	0,30	0,0364	22,44	2,45	6,44
8,00	8,00	9,00	917,28	916,95	20,00	0,39	0,0200	917,27	916,87	8	40	3,27	9,05	0,36	0,0364	23,18	1,97	6,44
9,00	9,00	10,00	916,95	916,50	20,00	0,36	0,0250	916,87	916,37	8	40	3,05	8,98	0,34	0,0364	22,94	2,11	6,44
10,00	10,00	11,00	916,50	916,12	20,00	0,39	0,0200	916,37	915,97	8	40	3,27	9,05	0,36	0,0364	23,18	1,97	6,44
11,00	11,00	12,00	916,12	915,12	20,00	0,30	0,0500	915,97	914,97	8	40	2,45	8,79	0,28	0,0364	22,21	2,62	6,44
12,00	12,00	13,00	915,12	914,42	20,00	0,33	0,0350	914,97	914,27	8	40	2,74	8,88	0,31	0,0364	22,59	2,35	6,44
13,00	13,00	14,00	914,42	914,36	20,00	0,59	0,0050	914,27	914,17	8	40	5,07	9,58	0,53	0,0364	24,71	1,27	6,44
14,00	14,00	15,00	914,36	914,25	20,00	0,59	0,0050	914,17	914,07	8	40	5,07	9,58	0,53	0,0364	24,71	1,27	6,44
15,00	15,00	16,00	914,25	913,40	20,00	0,32	0,0400	914,07	913,27	8	40	2,63	8,85	0,30	0,0364	22,44	2,45	6,44
16,00	16,00	17,00	913,40	911,65	20,00	0,25	0,0875	913,27	911,52	8	40	2,06	8,67	0,24	0,0364	21,63	3,12	6,44
17,00	17,00	18,00	911,65	910,85	20,00	0,32	0,0400	911,52	910,72	8	40	2,63	8,85	0,30	0,0364	22,44	2,45	6,44
18,00	18,00	19,00	910,85	910,22	20,00	0,34	0,0300	910,72	910,12	8	40	2,88	8,93	0,32	0,0364	22,75	2,24	6,44
19,00	19,00	20,00	910,22	910,12	20,00	0,59	0,0050	910,12	910,02	8	40	5,07	9,58	0,53	0,0364	24,71	1,27	6,44
20,00	20,00	21,00	910,12	909,54	20,00	0,34	0,0300	910,02	909,42	8	40	2,88	8,93	0,32	0,0364	22,75	2,24	6,44
21,00	21,00	22,00	909,54	909,25	20,00	0,48	0,0100	909,42	909,22	8	40	4,07	9,29	0,44	0,0364	23,94	1,58	6,44
22,00	22,00	23,00	909,25	908,59	20,00	0,34	0,0320	909,22	908,58	8	40	2,82	8,91	0,32	0,0364	22,68	2,28	6,44
23,00	23,00	24,00	908,59	908,35	20,00	0,39	0,0200	908,58	908,18	8	40	3,27	9,05	0,36	0,0364	23,18	1,97	6,44
24,00	24,00	25,00	908,35	908,14	20,00	0,48	0,0100	908,18	907,98	8	40	4,07	9,29	0,44	0,0364	23,94	1,58	6,44
25,00	25,00	26,00	908,14	907,90	20,00	0,48	0,0100	907,98	907,78	8	40	4,07	9,29	0,44	0,0364	23,94	1,58	6,44
26,00	26,00	27,00	907,90	907,23	20,00	0,34	0,0300	907,78	907,18	8	40	2,88	8,93	0,32	0,0364	22,75	2,24	6,44
27,00	27,00	28,00	907,23	906,88	20,00	0,41	0,0170	907,18	906,84	8	40	3,44	9,10	0,38	0,0364	23,36	1,87	6,44

28,00	28,00	29,00	906,88	906,62	20,00	0,43	0,0140	906,84	906,56	8	40	3,66	9,16	0,40	0,0364	23,57	1,76	6,44
29,00	29,00	30,00	906,62	906,49	20,00	0,59	0,0050	906,56	906,46	8	40	5,07	9,58	0,53	0,0364	24,71	1,27	6,44
30,00	30,00	31,00	906,49	906,20	20,00	0,48	0,0100	906,46	906,26	8	40	4,07	9,29	0,44	0,0364	23,94	1,58	6,44

Les différentes vérifications sont effectuées avec les hypothèses de calcul présenté dans le tableau 6.4. Les résultats sont donnés dans les tableaux 6.6 et 6.7, pour les deux tronçons étudiés.

Tableau 6.11 : Hypothèses de calcul

Masse volumique eau	1 000,00	Kg/m ³
Masse volumique pierre	2 500,00	Kg/m ³
MATELAS RENO		
Coef. de chield C* (matelas Reno)	0,1	
Diamètre dm	0,18	m
Angle de frottement interne pierres	41	°
Épaisseur matelas Reno	0,4	cm
INTERFACE		
coefficient de rugosité de l'interface du fond	0,02	
Diamètre moyen de particules de la couche de base (tronçon 3)	0,00000713	m
Diamètre moyen de particules de la couche de base (tronçon 5)	0,0000051	m
Coef. Darcy Weisbach	0,05	noté f
Diamètre moyen du gravier du filtre	0,0115	m
Diamètre équivalent des interstices dv	0,0023	m

Tableau 6.12 : Vérification de la stabilité du canal trapézoïdal en matelas Reno d'oued 3.

Pt Amon t	Pt Ava l	Vérification en termes de vitesses					Tension dans le fond			Tension dans les berges			Effet de la déformation			Vérification de l'érosion du matériau de base				
		Nbre Frde	Vc Fr<=1,5	Vc (Fr>3)	Vc m/s	TEST	tb kg/m3	tc kg/m3	TEST	tm kg/m3	ts (kg/m3)	TEST	C*	Δz/dm	TEST	Vb	Ve	TEST	ep gravier	Ep adoptée
1	2	1,01	5,26	4,5	6,54	STABLE	10,87	27	STABLE	8,15	26,38	STABLE	-0,002	2,22	INSTABLE	2,29	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
2	3	1	5,26	4,5	5,37	STABLE	8,24	27	STABLE	6,18	26,38	STABLE	-0,002	2,22	INSTABLE	1,88	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
3	4	1,01	5,26	4,5	5,74	STABLE	9,04	27	STABLE	6,78	26,38	STABLE	-0,002	2,22	INSTABLE	2,01	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
4	5	1	5,26	4,5	4,06	STABLE	5,57	27	STABLE	4,18	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,42	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
5	6	1,01	5,26	4,5	4,06	STABLE	5,57	27	STABLE	4,18	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,42	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
6	7	1	5,26	4,5	4,97	STABLE	7,39	27	STABLE	5,55	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	1,74	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
7	8	1,01	5,26	4,5	3,85	STABLE	5,17	27	STABLE	3,88	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,35	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
8	9	1,01	5,26	4,5	4,06	STABLE	5,57	27	STABLE	4,18	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,42	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
9	10	1,01	5,26	4,5	4,54	STABLE	6,51	27	STABLE	4,88	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	1,59	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
10	11	1,01	5,26	4,5	3,33	STABLE	4,23	27	STABLE	3,17	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,17	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
11	12	1,01	5,26	4,5	4,97	STABLE	7,39	27	STABLE	5,55	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	1,74	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
12	13	1,01	5,26	4,5	5,37	STABLE	8,24	27	STABLE	6,18	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	1,88	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
13	14	1,01	5,26	4,5	6,09	STABLE	9,82	27	STABLE	7,37	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	2,13	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
14	15	1,01	5,26	4,5	5,37	STABLE	8,24	27	STABLE	6,18	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	1,88	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
15	16	1	5,26	4,5	2,03	STABLE	2,11	27	STABLE	1,58	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	0,71	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
16	17	1,02	5,26	4,5	2,87	STABLE	3,43	27	STABLE	2,57	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,00	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
17	18	1,01	5,26	4,5	3,28	STABLE	4,14	27	STABLE	3,10	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,15	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
18	19	1	5,26	4,5	3,26	STABLE	4,10	27	STABLE	3,08	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,14	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
19	20	0,9	5,26	4,5	3,22	STABLE	4,04	27	STABLE	3,03	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,13	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
20	21	1	5,26	4,5	2,87	STABLE	3,43	27	STABLE	2,57	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,00	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
21	22	1	5,26	4,5	3,51	STABLE	4,55	27	STABLE	3,41	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,23	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
22	23	1	5,26	4,5	3,41	STABLE	4,36	27	STABLE	3,27	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,19	0,04	INSTABLE	0,05	0,15

23	24	1	5,26	4,5	4,06	STABLE	5,57	27	STABLE	4,18	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,42	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
24	25	1	5,26	4,5	3,44	STABLE	4,43	27	STABLE	3,32	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,21	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
25	26	1,01	5,26	4,5	5,74	STABLE	9,04	27	STABLE	6,78	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	2,01	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
26	27	1	5,26	4,5	5,74	STABLE	9,04	27	STABLE	6,78	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	2,01	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
27	28	1,01	5,26	4,5	3,85	STABLE	5,17	27	STABLE	3,88	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,35	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
28	29	1,01	5,26	4,5	5,52	STABLE	8,56	27	STABLE	6,42	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	1,93	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
29	30	1,02	5,26	4,5	7,31	STABLE	12,70	27	STABLE	9,53	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	2,56	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
30	31	1,08	5,26	4,5	3,87	STABLE	5,21	27	STABLE	3,91	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,35	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
31	32	1	5,26	4,5	3,29	STABLE	4,15	27	STABLE	3,11	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,15	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
32	33	1,01	5,26	4,5	5,13	STABLE	7,74	27	STABLE	5,80	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	1,80	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
33	34	1,01	5,26	4,5	5,29	STABLE	8,07	27	STABLE	6,05	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	1,85	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
34	35	1,02	5,26	4,5	4,06	STABLE	5,57	27	STABLE	4,18	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,42	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
35	36	1,01	5,26	4,5	5,13	STABLE	7,74	27	STABLE	5,80	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	1,80	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
36	37	1,01	5,26	4,5	3,45	STABLE	4,43	27	STABLE	3,32	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,21	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
37	38	1,01	5,26	4,5	3,36	STABLE	4,28	27	STABLE	3,21	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,18	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
38	39	1,03	5,26	4,5	3,52	STABLE	4,56	27	STABLE	3,42	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,23	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
39	40	1,02	5,26	4,5	3,37	STABLE	4,30	27	STABLE	3,22	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,18	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
40	41	1	5,26	4,5	3,30	STABLE	4,17	27	STABLE	3,13	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,16	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
41	42	1	5,26	4,5	3,30	STABLE	4,18	27	STABLE	3,13	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,16	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
42	43	1	5,26	4,5	3,30	STABLE	4,17	27	STABLE	3,13	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,15	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
43	44	1	5,26	4,5	4,54	STABLE	6,51	27	STABLE	4,88	26,38	STABLE	-0,002	2,22	STABLE	1,59	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
44	45	1,02	5,26	4,5	3,33	STABLE	4,23	27	STABLE	3,17	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	1,17	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
45	46	1,01	5,26	4,5	0,91	STABLE	0,68	27	STABLE	0,51	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	0,32	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
46	47	1	5,26	4,5	0,91	STABLE	0,68	27	STABLE	0,51	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	0,32	0,04	INSTABLE	0,05	0,15
47	48	1	5,26	4,5	1,28	STABLE	1,11	27	STABLE	0,83	26,38	STABLE	-0,003	2,22	STABLE	0,45	0,04	INSTABLE	0,05	0,15

Tableau 6.13 : Vérification de la stabilité du canal trapézoïdal en matelas Reno d'oued 5.

Pt Amont	Pt Aval	Vérification en termes de vitesses					Tension dans le fond			Tension dans les berges			Effet de la déformation			Vérification de l'érosion du matériau de base				
		Nbre Frde	Vc Fr≤1,5	Vc Fr>3	Vc (m/s)	TEST	tb (kg/m3)	tc (kg/m3)	TEST	tm (kg/m3)	ts (kg/m3)	TEST	C'*	Δz/dm	TEST	Vb	Ve	TEST	ep (gravier)	Ep (adoptée)
1	2	1,01	5,26	4,5	5,90	STABLE	9,86	27	STABLE	7,39	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,68	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
2	3	1	5,26	4,5	4,99	STABLE	7,79	27	STABLE	5,84	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,42	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
3	4	1,01	5,26	4,5	4,99	STABLE	7,79	27	STABLE	5,84	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,42	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
4	5	1,01	5,26	4,5	4,99	STABLE	7,79	27	STABLE	5,84	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,42	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
5	6	1,01	5,26	4,5	4,32	STABLE	6,37	27	STABLE	4,78	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,23	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
6	7	1,01	5,26	4,5	5,58	STABLE	9,11	27	STABLE	6,83	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,59	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
7	8	1	5,26	4,5	7,05	STABLE	12,65	27	STABLE	9,49	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	2,01	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
8	9	1,01	5,26	4,5	4,99	STABLE	7,79	27	STABLE	5,84	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,42	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
9	10	1,01	5,26	4,5	5,58	STABLE	9,11	27	STABLE	6,83	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,59	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
10	11	1	5,26	4,5	4,99	STABLE	7,79	27	STABLE	5,84	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,42	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
11	12	1,01	5,26	4,5	7,89	STABLE	14,79	27	STABLE	11,10	26,38	STABLE	- 0,001	2,22	STABLE	2,25	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
12	13	1	5,26	4,5	6,60	STABLE	11,53	27	STABLE	8,65	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,88	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
13	14	1,01	5,26	4,5	2,49	STABLE	2,95	27	STABLE	2,21	26,38	STABLE	- 0,003	2,22	STABLE	0,71	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
14	15	1,01	5,26	4,5	2,49	STABLE	2,95	27	STABLE	2,21	26,38	STABLE	- 0,003	2,22	STABLE	0,71	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
15	16	1,01	5,26	4,5	7,05	STABLE	12,65	27	STABLE	9,49	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	2,01	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
16	17	1	5,26	4,5	10,43	STABLE	21,89	27	STABLE	16,41	26,38	STABLE	- 0,001	2,22	STABLE	2,97	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
17	18	1	5,26	4,5	7,05	STABLE	12,65	27	STABLE	9,49	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	2,01	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
18	19	1	5,26	4,5	6,11	STABLE	10,35	27	STABLE	7,76	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,74	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
19	20	1	5,26	4,5	2,49	STABLE	2,95	27	STABLE	2,21	26,38	STABLE	- 0,003	2,22	STABLE	0,71	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
20	21	1,01	5,26	4,5	6,11	STABLE	10,35	27	STABLE	7,76	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,74	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
21	22	1,01	5,26	4,5	3,53	STABLE	4,79	27	STABLE	3,60	26,38	STABLE	- 0,003	2,22	STABLE	1,00	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
22	23	1,01	5,26	4,5	6,31	STABLE	10,83	27	STABLE	8,12	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,80	0.003	INSTABLE	0,05	0,15

23	24	1,01	5,26	4,5	4,99	STABLE	7,79	27	STABLE	5,84	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,42	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
24	25	1,01	5,26	4,5	3,53	STABLE	4,79	27	STABLE	3,60	26,38	STABLE	- 0,003	2,22	STABLE	1,00	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
25	26	1,01	5,26	4,5	3,53	STABLE	4,79	27	STABLE	3,60	26,38	STABLE	- 0,003	2,22	STABLE	1,00	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
26	27	1,01	5,26	4,5	6,11	STABLE	10,35	27	STABLE	7,76	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,74	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
27	28	0,99	5,26	4,5	4,60	STABLE	6,95	27	STABLE	5,21	26,38	STABLE	- 0,002	2,22	STABLE	1,31	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
28	29	1	5,26	4,5	4,17	STABLE	6,07	27	STABLE	4,55	26,38	STABLE	- 0,003	2,22	STABLE	1,19	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
29	30	1	5,26	4,5	2,49	STABLE	2,95	27	STABLE	2,21	26,38	STABLE	- 0,003	2,22	STABLE	0,71	0.003	INSTABLE	0,05	0,15
30	31	1,02	5,26	4,5	3,53	STABLE	4,79	27	STABLE	3,60	26,38	STABLE	- 0,003	2,22	STABLE	1,00	0.003	INSTABLE	0,05	0,15

6.4.5. Résultats et interprétations

Les résultats des différents tests effectués révèlent que le matelas Reno est stable en termes de vitesses, de tension dans le fond, de tension dans les berges et vis-à-vis de l'effet de la déformation. Toutefois la vérification de l'érosion du matériau de base n'est pas vérifiée. La solution d'un filtre en gravier d'une épaisseur de 15 cm est alors adoptée.

Conclusion

Après avoir simulé l'inondation sous le logiciel Hec-Ras sur deux tronçons (3 et 5) du cours d'eau, nous avons procédé, dans ce chapitre, à leur aménagement. Trois variantes sont étudiées, à savoir un canal en béton armé, un canal en terre et un canal en Matelas Reno. Un devis estimatif de ces aménagements a été effectué et a révélé que la variante béton armé est onéreuse et donc a été écartée. Une vérification d'affouillement a également écarté la variante du canal en terre. Enfin la variante retenue pour notre aménagement est le Matelas Reno avec rip-rap, pour assurer sa stabilité vis-à-vis de l'érosion à la base.

L'objectif de notre travail est de proposer une méthodologie de conception et de dimensionnement des ouvrages d'aménagement et de protection contre les inondations. Pour simuler ces inondations et maîtriser leur étendue, nous avons fait appel au logiciel de modélisation numérique (HEC-RAS).

L'étude hydrologique du présent projet a été réalisée par des méthodes appliquées en pour des bassins versant de l'Afrique du Nord, tenant compte les caractéristiques physico morpho métriques, géologiques des sous bassins versants.

L'étude géotechnique, nous a renseigné sur la lithologie du sous-sol, de nature constructible. La prospection par sondage carottés et sondages à la tarière a révélé un sol constitué essentiellement de la marne.

Les profils en travers représentatifs du canal qui constituent la principale donnée géométrique introduite dans les modèles numériques ont été générés automatiquement en utilisant les logiciels Autocad-Civil 3D et Global Mapper, afin d'effectuer la simulation de l'inondation ainsi que pour sa visualisation une fois exportée vers le logiciel Hec-Ras.

La simulation effectuée à l'aide du logiciel HEC-RAS, a mis en évidence les deux tronçons inondés du canal étudié, qui sont les tronçons 3 et 5. Ces inondations s'étendent sur une surface très importante pour une crue centennale. Ces inondations sont essentiellement dues aux pentes faibles ainsi qu'à l'irrégularité des sections géométriques qui limitent la capacité d'évacuation du canal.

Afin de réduire les risques d'inondation et d'éviter le phénomène d'érosion provoquant le charriage des matières solides, une protection du fond du canal ainsi que des a été nécessaire. Trois variantes d'aménagement ont été proposées. Ces propositions été motivées par le souci de garder l'oued dans son lit d'origine avec un écoulement aussi naturel que possible.

Après l'étude hydraulique, et l'exploitation de ses résultats a permis l'élaboration d'un plan d'aménagement. Au vu des éléments technico-économiques considérés, nous avons opté pour un canal trapézoïdal en Matelas Reno d'une largeur de 8 m sur une épaisseur de 15cm avec filtre en gravier d'une épaisseur de 15cm, pour assurer sa stabilité vis-à-vis de l'érosion à la base qui a été signalée.

Afin de garantir un écoulement satisfaisant et une durabilité du canal une fois réalisé, il sera important d'assurer un entretien périodique et notamment de surveiller l'accumulation des matières solides qui pourraient gêner l'écoulement.

- [1] **DJAIZ.F, INAL.A, BRINIS. N et CHERIET.M.**, "Etude géologique et géotechnique des carrières de Batna- Ain touta. Intérêt économique et impact sur l'environnement ", Université de Batna, 2009.
- [2] **GUIRAUD.R, BELLION.Y, BALLAIS L.**, "Les TAMARINS (288)", Office national de recherche géologique et minière. Editions du service géologique de L'Algérie, Boumerdès, 2001.
- [3] **AISSA MADAOUI. O et AISSA MADAOUI R.**, "Protection des villes contre les inondations cas du centre d'Ain Fezza Tlemcen", Université ABOU BEKR BELKAID, Tlemcen, 2016.
- [4] **Conférence Nationale sur les risques majeurs, CIC / 22-23 octobre 2018.**
- [5] **ROCHE. M** : hydrologie de surface, Gauthier Villars éditeur paris 1963.
- [6] **RAPPORT D'ETUDE DE SOL** : Etude géotechnique de la zone technique et actualisation de l'étude de la zone vie au profile de l'EMRGMu, Ain Touta- Batna 2011
- [7] **IHOUT.F, MAMACHE.N** : Etude d'aménagement de l'oued el hamiz daïra dar el beida, wilaya d'Alger, 2017.
- [8] **DUPONT G.** hydraulique urbaine « ouvrages de transports, évaluation et distribution » Tome II, édition EYROLLES paris 1981.
- [10] **U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS**, HEC-RAS river analysis system, Hydraulic référence Manuel, USA, 441pages, version 5.01, Avril 2016.
- [11] **TERRY.W.S**, Open channel hydraulics, *Mcgraw-hill Book Company*, 2001.
- [12] **AFRICAN GEOSYSTEM COMPANY**: Mission G: Etude d'aménagement Lot 4: Oued N'Tavia Village Amirouche

Annexes

Vitesses moyennes maximales admissibles de l'eau dans les canaux

Type de sol	Vitesse moyenne maximale admissible (m/s)
Canaux sans revêtement	
Argile mollie ou très fine	0,2
sable très fin ou sable pur très léger	0,3
sable ou limon meuble très léger	0,4
sable grossier ou sol sablonneux léger	0,5
sol sablonneux ou petit gravier	0,7
limon moyen ou sol alluvial	0,8
limon ferme ou limon argileux	1
gravier ou argile ferme	1,1
sol argileux radie, sol graveleux ordinaire, argile et gravier	1,4
pierres cassées et argile	1,5
gravier grossier, cailloux, schistes	1,8
conglomérats, gravier agglomère, ardoise tendre	2
roche tendre, roche stratifiées, harpant dur	2,4
roche dure	4
Canaux ordinaires à revêtement	
béton coulé sur place	2,5
béton préfabriqué	2
pierres cassées et argile	1,6 - 1,8
blocs de béton	1,6
briques	1,4 - 1,6
Canaux surélevées	
béton ou tôle lisse	1,5 - 2
tôle ondulée	1,2 - 1,8
bois	0,9 - 1,5

Les valeurs de Manning

Tableaux de référence pour les valeurs n de Manning pour les canaux Manning's n pour Channels (Chow, 1959).

Type de chaîne et description	Le minimum	Ordinaire	Maximum
Cours d'eau naturels - cours d'eau mineurs (largeur supérieure à la crue <100 ft)			
1. Canaux principaux			
a. étage propre, droit, complet, pas de fentes ni de piscines profondes	0,025	0,030	0,033
b. comme ci-dessus, mais plus de cailloux et de mauvaises herbes	0,030	0,035	0,040
c. propre, sinueux, quelques piscines et hauts-fonds	0,033	0,040	0,045
ré. comme ci-dessus, mais quelques mauvaises herbes et pierres	0,035	0,045	0,050
e. comme ci-dessus, étages inférieurs, pentes et sections moins efficaces	0,040	0,048	0,055
F. idem que "d" avec plus de pierres	0,045	0,050	0,060
g. tronçons lents, mauvaises herbes, piscines profondes	0,050	0,070	0,080
h. tronçons très envahis par la poussière, piscines profondes ou canaux de dérivation avec forte densité de bois et de sous-bois	0,075	0,100	0,150
2. Ruisseaux de montagne, pas de végétation dans le chenal, berges généralement escarpées, arbres et broussailles le long des berges immergées aux étages supérieurs			
a. en bas: graviers, cailloux et quelques rochers	0,030	0,040	0,050
b. en bas: galets avec gros rochers	0,040	0,050	0,070
3. plaines inondables			
a. Pâturage, pas de brosse			
1. l'herbe courte	0,025	0,030	0,035
2. hautes herbes	0,030	0,035	0,050
b. Zones cultivées			
1. pas de récolte	0,020	0,030	0,040
2. cultures en rangées mures	0,025	0,035	0,045
3. grandes cultures mures	0,030	0,040	0,050
c. Brosse			
1. broussailles éparées, mauvaises herbes épaisses	0,035	0,050	0,070
2. broussailles et arbres clairs, en hiver	0,035	0,050	0,060
3. broussailles claires et arbres, en été	0,040	0,060	0,080
4. brosse moyenne à dense, en hiver	0,045	0,070	0,110
5. pinceau moyen à dense, en été	0,070	0,100	0,160
ré. Des arbres			
1. saules denses, été, droits	0,110	0,150	0,200
2. terres défrichées avec des souches d'arbres, pas de pousses	0,030	0,040	0,050
3. Comme ci-dessus, mais avec une forte croissance de germes	0,050	0,060	0,080
4. peuplement lourd de bois, quelques arbres en contrebas, peu de sous-bois, phase d'inondation sous les branches	0,080	0,100	0,120
5. Même chose que 4. le niveau d'inondation atteint les branches	0,100	0,120	0,160
4. Chenaux excavés ou dragués			
a. Terre, droite et uniforme			
1. propre, récemment terminé	0,016	0,018	0,020
2. propre, après avoir patiné	0,018	0,022	0,025
3. gravier, section uniforme, propre	0,022	0,025	0,030
4. avec de l'herbe courte, peu de mauvaises herbes	0,022	0,027	0,033
b. Terre sinieuse et lente			
1. pas de végétation	0,023	0,025	0,033
2. herbe, quelques mauvaises herbes	0,025	0,030	0,033
3. mauvaises herbes denses ou plantes aquatiques dans les canaux profonds	0,030	0,035	0,040
4. fond de terre et côtés de gravats	0,028	0,030	0,035

5. banques pierreuses et herbeuses	0,025	0,035	0,040
6. fond de galets et côtés propres	0,030	0,040	0,050
c. Dragline-excavé ou dragué			
1. pas de végétation	0,025	0,028	0,033
2. pinceau léger sur les berges	0,035	0,050	0,060
ré. Coupes de roche			
1. lisse et uniforme	0,025	0,035	0,040
2. déchiqueté et irrégulier	0,035	0,040	0,050
e. Canaux non entretenus, mauvaises herbes et brosse non coupées			
1. mauvaises herbes denses, haut comme la profondeur d'écoulement	0,050	0,080	0,120
2. fond propre, brosse sur les côtés	0,040	0,050	0,080
3. idem ci-dessus, plus haut niveau de flux	0,045	0,070	0,110
4. pinceau dense, stade élevé	0,080	0,100	0,140
5. Canaux alignés ou construits			
a. Ciment			
1. surface soignée	0,010	0,011	0,013
2. mortier	0,011	0,013	0,015
b. Bois			
1. raboté, non traité	0,010	0,012	0,014
2. raboté, créosoté	0,011	0,012	0,015
3. non planifié	0,011	0,013	0,015
4. planche avec lattes	0,012	0,015	0,018
5. doublé de papier de toiture	0,010	0,014	0,017
c. Béton			
1. finition à la truelle	0,011	0,013	0,015
2. finition flottée	0,013	0,015	0,016
3. fini, avec du gravier sur le fond	0,015	0,017	0,020
4. inachevé	0,014	0,017	0,020
5. gunite, bonne section	0,016	0,019	0,023
6. gunite, section ondulée	0,018	0,022	0,025
7. sur un bon rocher excavé	0,017	0,020	
8. sur des roches excavées irrégulières	0,022	0,027	
ré. Finition flottante à fond de béton avec côtés de:			
1. pierre de taille en mortier	0,015	0,017	0,020
2. pierre aléatoire dans le mortier	0,017	0,020	0,024
3. maçonnerie de moellons de ciment, en plâtre	0,016	0,020	0,024
4. maçonnerie en moellons de ciment	0,020	0,025	0,030
5. gravats secs ou enrochements	0,020	0,030	0,035
e. Fond de gravier avec des côtés de :			
1. béton formé	0,017	0,020	0,025
2. mortier de pierre aléatoire	0,020	0,023	0,026
3. gravats secs ou enrochements	0,023	0,033	0,036
F. Brique			
1. vitré	0,011	0,013	0,015
2. dans le mortier de ciment	0,012	0,015	0,018
g. Maçonnerie			
1. gravats cimentés	0,017	0,025	0,030
2. gravats secs	0,023	0,032	0,035
h. Dallage en pierre de taille / pierre de taille	0,013	0,015	0,017
je. Asphalte			
1. lisse	0,013	0,013	
2. rugueux	0,016	0,016	
j. Doublure végétale	0,030		0,500